



TUGAS AKHIR - TL141584

**ANALISIS FREKUENSI OPTIMUM PENGUJIAN
HORIZONTAL FATIGUE PADA BERBEGAI
RANGKA SEPEDA TIPE TREKKING DENGAN
METODE ELEMEN HINGGA**

Rostarina Anggraini
NRP 2712 100 017

Dosen Pembimbing :
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D.
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK MATERIAL DAN METALURGI
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TL141584

**ANALYSIS OF OPTIMUM FREQUENCY ON
HORIZONTAL FATIGUE TEST ON VARIOUS TYPE
TREKKING FRAME BICYCLE WITH FINITE
ELEMENT METHOD**

Rostarina Anggraini
NRP 2712 100 017

Advisor Lecturer :
Mas Irfan P. Hidayat, ST., M.Sc., Ph.D.
Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc.

MATERIALS AND METALLURGICAL ENGINEERING DEPARTEMENT
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2016

**ANALISIS FREKUENSI OPTIMUM PENGUJIAN
HORIZONTAL FATIGUE PADA BERBEGAI RANGKA
SEPEDA TIPE TREKKING DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada

Bidang Studi Korosi dan Analisa Kegagalan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Material dan Metalurgi
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ROSTARINA ANGGRAINI
NRP. 2712100017

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

1. Mas Irfan P. Hidayat, ST, M.Sc, Ph.D (Pembimbing 1)
2. Budi Agung Kurniawan, ST., M.Sc (Pembimbing 2)



**ANALISIS FREKUENSI OPTIMUM PENGUJIAN
HORIZONTAL FATIGUE PADA BERBEGAI RANGKA
SEPEDA TIPE TREKKING DENGAN METODE ELEMEN
HINGGA**

Nama : Rostarina Anggraini
NRP : 271210017
Jurusan : Teknik Material dan Metallurgi
Dosen Pembimbing : Mas Irfan P. H., S.T.,M.Sc.,Ph.D
Budi Agung Kurniawan, S.T.,M.Sc

Abstrak

Pengujian *horizontal fatigue test* telah dilakukan pada frame sepeda aluminium 6061 T6 sesuai standart ISO 4210-6 2014 . Tujuan penelitian ini adalah analisis frekuensi optimum pada berbagai rangka sepeda tipe trekking dan mengetahui pengaruh sudut pembebanan terhadap frekuensi pengujian. Simulasi dilakukan pada ANSYS Mechanical APDL Release 15.0. Simulasi dilakukan pada desain A, B, dan C dengan analisis statis dan analisis fatigue dengan variasi frekuensi (1 – 6 Hz). Hasil simulasi menunjukkan frekuensi optimum untuk pengujian horizontal fatigue untuk desain A, B, dan C pada frekuensi 5 Hz. Disisi lain variasi pembebanan sudut telah dilakukan, dan 15⁰ merupakan sudut maksimum pemberian gaya pada pengujian horizontal fatigue.

Kata Kunci : frekuensi, *fatigue*, *horizontal*, ANSYS

**ANALYSIS OF OPTIMUM FREQUENCY ON
HORIZONTAL FATIGUE TEST ON VARIOUS TYPE
TREKKING FRAME BIKE WITH FINITE ELEMENT
METHOD**

Name : Rostarina Anggraini
NRP : 2712100017
Major : Material and Metallurgical Engineering Dept
Advisor : Mas Irfan P.H., S.T., M.Sc., Ph.D.
Lectures : Budi Agung Kurniawan, S.T., M.Sc.

Abstract

Horizontal fatigue test has done on aluminium 6061 T6 bike frame based on (ISO 4210-6-2014) standard. The purpose of this research was to analyze optimum frequency on trekking frame type and study the effect of force angle toward testing frequency. Simulation has performed on design A, B, and C using ANSYS Mechanical APDL Release 15.0 for static and fatigue analysis with frequency variation (1- 6 Hz). The result showed that the optimum frequency for horizontal fatigue test designs A, B, and C was 5Hz. While, force angle variation has done, the maximum angle was 150 for loading angle horizontal fatigue test.

Keywords: frequency, fatigue, horizontal, ANSYS

KATA PENGANTAR

Puji Syukur atas berkat dan kasih yang diberikan oleh Allah SWT kepada saya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir serta menyusun Laporan Tugas Akhir yang berjudul : **Analisis Frekuensi Optimum Pengujian *Horizontal Fatigue* Pada Berbagai Rangka Sepeda Tipe *Trekking* Dengan Metode Elemen Hingga**

Pada kesempatan kali ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Kedua orang tuaku Bapak Sutarwo dan Ibu Lilis Rostiati atas semua dukungan moril dan materiil yang selalu dicurahkan.
2. Adikku tercinta Iksan Aji Pamungkas atas segala dukungan dan pengorbanannya.
3. Dr. Agung Purniawan, S.T., M.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI – ITS.
4. Bapak Mas Irfan P. Hidayat, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bekal yang sangat bermanfaat.
5. Bapak Budi Agung Kurniawan ST., M.Sc selaku dosen Pembimbing yang selalu memberikan saran.
6. Bapak Sutarsis selaku dosen wali yang telah menjadi dosen wali selama menjadi mahasiswa.
7. Diana Kamaliyah Ichsan selaku partner Tugas Akhir yang selalu bersama – sama mengerjakan tugas akhir disaat suka maupun duka.
8. Ruth Yuliana Palupi, Nabella Nurul Aini, Lita Nurricha Wahyuni, Gabriel Asprilia Hartono, dan Nur Aini yang selalu menjadi kawan berbagi saat senang maupun sedih.
9. Eny Setiyowati, Rate Kristiningrum, Emma Peristina Nurcholis Putri, Deby Lolita Permatasari, Yassinta Nanda Pratama dan Intan Afriani teman kosan yang selalu bersama – sama dan berbagi suka duka dari mahasiswa baru hingga sekarang.

10. Frizka Vietantie MT14 dan Mbak Tri Aprilina MT 15 yang selalu begadang bersama mengerjakan tugas akhir.
11. Teman – teman MT 14 yang selalu memberikan dukungan dan motivasinya.
12. Bapak Ony Siswantoro dan karyawan divisi R&D PT Inerasena yang senantiasa membantu dalam pembuatan tugas akhir ini.
13. Dan nama – nama yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penyusun menyadari adanya keterbatasan di dalam penyusunan laporan ini. Besar harapan penyusun akan saran, dan kritik yang sifatnya membangun. Selanjutnya semoga tulisan ini dapat selalu bermanfaat. Amin.

Surabaya, Januari 2016

Penyusun

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TITLE PAGE	iii
LEMBAR PENGESAHAN.....	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	ix
KATA PENGANTAR.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2 Macam – Macam Tipe Sepeda.....	6
2.3 Bagian - Bagian Sepeda.....	9
2.4 Fatigue.....	11
2.5 Metode Elemen Hingga.....	19
2.6 ANSYS.....	23
2.6.1 Element Solid Brick 185.....	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	25
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
3.2 Materi Penelitian.....	26
3.2.1 Objek Penelitian.....	26
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	28
3.3 Skema Pengujian Horizontal Fatigue.....	28
3.4 Pemodelan dengan ANSYS 15.0.....	29
3.4.1 Pemodelan frame sepeda.....	30
3.4.2 Input Material Properties.....	30

3.4.3 Meshing.....	31
3.4.3 Boundary Conditions.....	32
3.5 Analisis Statis.....	33
3.6 Analisis Fatigue.....	33
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN 35	
4.1 Analisis Statis.....	35
4.2 Analisa Fatigue.....	39
4.3 Analisis Keadaan Tidak Ideal untuk Desain C.....	45
4.3 Validasi.....	51
BAB V KESIMPULAN SARAN.....	
5.1 Kesimpulan.....	53
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA.....	xxiii
LAMPIRAN	
BIODATA PENULIS	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sepeda tipe trekking.....	7
Gambar 2.2 Desain Bagian – Bagian Sepeda.....	9
Gambar 2.3 Kurva S-N Alumunium 6061.....	12
Gambar 2.4 Kurva stress vs cycle Alumunium 6061 T6.....	13
Gambar 2.5 Kurva hubungan stress intensity factor dengan laju perambatan retak.....	14
Gambar 2.6 Energi regangan yang tersimpan pada elemen terdefleksi.....	16
Gambar 2.7 Grafik representasi TED dalam keadaan tegangan 2 dimensi.....	18
Gambar 2.8 Elemen persegi empat sederhana untuk menjelaskan analisa metode elemen hingga.....	20
Gambar 2.9 Elemen yang Lazim Digunakan pada Analisa FEM.....	21
Gambar 2.10 Terminologi metode elemen hingga.....	22
Gambar 2.11 Hasil meshing dengan menggunakan metode elemen hingga.....	23
Gambar 2.12 Solid brick 185.....	23
Gambar 2.13 Layered Structural GeometriSumber : ANSYS Help, 2009.....	24
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2 Skema Pengujian Horizontal Fatigue (Sumber : ISO 4210-6-2014).....	28
Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan menggunakan metode elemen hingga.....	29
Gambar 3.4 Input material pada ANSYS.....	32
Gambar 3.5 Hasil Meshing.....	33
Gambar 3.6 Perbandingan frekuensi 1 – 6 Hz.....	34
Gambar 4.1 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain A.....	37
Gambar 4.2 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain B.....	38

Gambar 4.3 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain C.....	39
Gambar 4.4 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain A dalam satu kali gelombang pada frekuensi.....	41
Gambar 4.5 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain B dalam satu kali gelombang pada frekuensi.....	42
Gambar 4.6 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain C dalam satu kali gelombang pada frekuensi.....	43
Gambar 4.7 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain C pada pembebanan sudut 7.5^0	47
Gambar 4.8 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain C pada pembebanan sudut 15^0	48
Gambar 4.9 Plot tegangan Von Mises satuan Pascal (Pa) desain C pada pembebanan sudut 30^0	49

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tipe Sepeda Trekking.....	26
Tabel 3.2 Spesifikasi Aluminium 6061 T6.....	26
Tabel 3.3 Sifat mekanik material.....	26
Tabel 3.4 Data kurva tegangan regangan sebenarnya Al6061.....	27
Tabel 3.5 Data Kurva SN Al6061.....	27
Tabel 3.6 Parameter Las TIG pada Aluminum 6061.....	27
Tabel 3.7 Keterangan pengujian horizontal fatigue.....	29
Tabel 4.1 Data simulasi fatigue pada berbagai tipe rangka sepeda trekking.....	44
Tabel 4.2 Hasil evaluasi partial usage berdasarkan miner rule.....	39
Tabel 4.3 Data simulasi fatigue pembebanan bersudut pada berbagai tipe rangka sepeda trekking	50
Tabel 4.4 Data hasil simulasi pemberian gaya dengan berbagai sudut dari arah horizontal pada desain C.....	46

DAFTAR LAMPIRAN

Tabel 1 Data plot kurva fatigue frekuensi (1 – 6 HZ).....	1
Tabel 2 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 7.5 ⁰ (1 – 6 Hz).....	1
Tabel 3 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 15 ⁰ (1 – 6 Hz).....	2
Tabel 4 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 30 ⁰ (1 – 6 Hz).....	2
Tabel 5 Massa frame dan inersia.....	3

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya penggunaan sepeda di Indonesia mengakibatkan terjadinya peningkatan permintaan sepeda, menurut Asosiasi Industri Persepedaan Indonesia (API) terjadi peningkatan penggunaan sepeda pada tahun 2013 mencapai 6,45 juta unit, sekitar 15% jika dibandingkan tahun sebelumnya (AIPI, 2013). Tentunya hal ini menyebabkan peningkatan produksi sepeda di Indonesia. Kapasitas produksi yang tinggi harus disertai dengan penjaminan mutu dan kualitas yang baik. Namun pada umumnya sepeda seringkali mengalami kegagalan *fatigue*. *Fatigue* terjadi karena pembebanan dinamis dan fluktuatif pada suatu material dengan pembebanan dibawah *yield strength* (Callister, 2009). Sehingga menyebabkan berkurangnya *stiffness* suatu material, umumnya sepeda yang terbuat dari *aluminium alloys* mengalami kegagalan setelah digunakan mengendarai sejauh 1600 km (Davis, 1981). Sepeda *trekking* merupakan sepeda yang terbuat dari *aluminium alloys* tipe 6061 T6. Sebagai salah satu alat transportasi, pembebanan dinamis tidak dapat dihindari. Hal ini akan mengakibatkan adanya kegagalan *fatigue* pada *frame* sepeda. Kegagalan ini berbahaya karena sulit untuk dideteksi dan tidak memberikan tanda-tanda kerusakan yang pasti (Calister, 2009). Sehingga untuk menjamin mutu dan kualitas, produk sepeda harus dilakukan pengujian *fatigue*.

Beberapa pengujian *fatigue* yang harus dilakukan menurut ISO 4210-6 2014 yaitu *horizontal fatigue test*, *vertical fatigue test*, *pedalling test*, dan *impact test*. Pada penelitian ini akan difokuskan pada pengujian *horizontal fatigue test*, karena pada kenyataannya di industri belum memiliki landasan yang jelas pemilihan frekuensi dari ISO 4210-6, 2004 untuk pengujian *horizontal fatigue test*. Pengujian *horizontal fatigue test* dilakukan dengan pembebanan 450 N dan rentang frekuensi 1-5 Hz untuk mencapai target 100.000 cycle (ISO 4210-6, 2004). Namun pada



prakteknya frekuensi yang digunakan adalah frekuensi 4 Hz dengan waktu pengujian 6 jam 56 menit untuk 100.000 *cycle* (Testing Report Perusahaan Sepeda Polygon, 2015). Frekuensi 4 Hz bukan merupakan frekuensi maksimum pada standar, pencapaian frekuensi maksimum seperti pada standar ISO 4210-6-2014 perlu dilakukan. Namun penggunaan frekuensi yang tinggi mengakibatkan pengujian *fatigue* tidak stabil dan dapat merusak *frame* (Styns, 2005). Oleh karena itu dalam penelitian ini akan menganalisis pengaruh penggunaan frekuensi pada pengujian *horizontal fatigue test* yang disimulasikan menggunakan software ANSYS versi 15.0 apdl.

Penggunaan simulasi dengan software ANSYS dilakukan karena lebih efisien waktu dan harga. Tayade, 2015 melakukan simulasi pengujian *horizontal fatigue test* pada sepeda tipe *falcon avon* menggunakan ANSYS dan setelah dilakukan validasi dengan data eksperimen menunjukkan hasil yang akurat. Simulasi yang dilakukan Gur, 2014 menggunakan standar EN 14768 dan dimodelkan menggunakan finite element methods, menunjukkan pembebanan terbesar pada *frame* sepeda terdapat pada *stays tube*. Covil , 2014 menyatakan tegangan terbesar pada *frame* sepeda terdapat pada *down tube*. Sedangkan menurut Zhongxia, 2011 melakukan simulasi *fatigue test* menggunakan standar ISO 4210 di ANSYS, menyatakan tegangan terbesar terdapat pada *stays tube dan seat tube*. Kegagalan terjadi di beberapa bagian *frame* sepeda, sehingga perlu untuk dilakukan pengkajian ulang desain. Oleh karena itu dilakukan penelitian untuk menentukan frekuensi optimum yang disimulasikan dengan ANSYS versi 15 apdl dengan variasi frekuensi pada pengujian *horizontal fatigue test*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana analisis frekuensi optimum pengujian *horizontal fatigue* pada berbagai rangka sepeda tipe *trekking*?



2. Bagaimana pengaruh variasi sudut pembebanan terhadap frekuensi pengujian?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Posisi pengendara dalam penelitian ini adalah posisi pengendalian normal dengan asumsi bahwa masing-masing gaya kanan dan kiri pada pembebanan *horizontal* simetris.
2. Sambungan las dari setiap *joint* dianggap sempurna dan luasan dianggap homogen, sehingga keseluruhan bentuk rangka merupakan satu kesatuan material yang sama.
3. Simulasi pengujian dilakukan pada satu siklus penuh kemudian diulang hingga 100.000 siklus.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis frekuensi optimum pengujian *horizontal fatigue* pada berbagai rangka sepeda tipe *trekking*.
2. Mengetahui pengaruh sudut pembebanan terhadap frekuensi pengujian.

1.5 Manfaat Penelitian

Dengan penelitian ini diharapkan diperoleh informasi mengenai frekuensi optimum pengujian *horizontal fatigue test* untuk rangka sepeda tipe *trekking* dan sesuai dengan standar ISO 4210-6-2014.



(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Zhongxia, 2011 melakukan simulasi pengujian *fatigue* rangka sepeda di ANSYS menggunakan standart ISO 4210, menjelaskan bahwa tegangan terbesar pada *top tube* sepeda terdapat pada *seat tube* dan banyak pengujian *cycle* mengalami kegagalan dikarenakan penggunaan standart yang tidak tepat. Namun tidak melakukan variasi frekuensi pada simulasi yang dilakukan.

Gur, 2014 melakukan simulasi pembebanan statis pada sepeda anak-anak menggunakan ANSYS dengan standart EN 14764 dan diketahui konsentrasi tegangan terbesar terdapat pada *seat tube*.

Covil, 2014 melakukan simulasi finite element hingga pada rangka sepeda dengan standart EN 14766-2005 dalam penelitian kali ini menggunakan 317 beam element untuk mewakili sepeda. Kemudian di uji dengan pemberian beban vertical sebesar 2400 N dan disimulasi mengendarai. Pengujian yang kedua dilakukan pada *seddle* dan *botom bracket* sebagai indikator *stiffness lateral*. Hasil dari penelitian ini *down tube stays* yang paling bertanggung jawab untuk *lateral stiffness*.

Hagiharaa, 2007 melakukan variasi frekuensi (6Hz, 0.1Hz, dan 0.02 Hz) untuk mengetahui pengaruh frekuensi terhadap pembentukan *crack* pada alumunium 6061 di lingkungan hydrogen dan nitrogen. Dan hasilnya pada lingkungan hydrogen pembentukan *crack* akan lebih cepat apabila dilakukan pada frekuensi 6Hz, namun tidak melakukan simulasi.

Rong, 2012 melakukan uji *fatigue* pada material AZ31 amplitudu 0.2% kemudian memvariasikan frekuensi pada 1Hz membutuhkan waktu uji 5.7jam dengan banyak *cycle* 20,000 sedangkan pada frekuensi 10Hz membutuhkan waktu uji 1.8jam dengan banyak *cycle* 65,000. Setelah dilakukan uji mikroskopik dan SEM menunjukkan terjadi dislokasi didaerah *fatigue* 1Hz dan



twiniing di daerah *fatigue* 10Hz. Namun tidak melakukan simulasi dengan software.

M Arunachalam, 2014 melakukan simulasi pengujian *fatigue* di CAD/CAE tipe element *tetrahedral* dengan number of element sebanyak 150.000 pada sepeda fodable, dan memberika pembebanan 600N untuk transitional dan 1200N untuk *compression* untuk minimal 50.000 *cycle*. Namun tidak melakukan variasi frekuensi pada pengujian *fatigue*.

Petrone, 2014 melakukan pengujian *horizontal fatigue testing* pada *top tube* sepeda motor dengan gaya 15kN pada frekuensi 7 Hz selama 8.645 jam akan terjadi retak pada 50.000 km atau 2×10^5 *cycle*, namun pada penelitian ini tidak dilakukan simulasi dan variasi frekuensi pada pengujian *horizontal fatigue test*.

Dawyer, 2012 melakukan simulasi pengujian *fatigue horizontal* pada *top tube* sepeda Alumunium 6061 T6 menggunakan standart ASTM F2711-08 dengan pemberian gaya sebesar 600 N untuk tegangan tarik dan 1200 N untuk tegangan tekan pada frekuensi 1 Hz kemudian disimulasikan pada ANSYS Workbench 13.0 . Pada penelitian ini menunjukkan bahwa *crack* terjadi *top tube* dekat dengan *down tube*, *down tube* dekat dengan pengelasan *seat tube*, dan pada *down tube* dekat dengan daerah pengelasan dekat *head tube*. Namun daerah *down tube* dengan *head tube* merupakan daerah yang paling kritis, karena terjadi konsentrasi tegangan apabila diberi gaya pada pengujian *fatigue horizontal*. Dari hasil simulasi yang dilakukan *top tube* sepeda diprediksi akan gagal setelah melewati 490000 *cycle*.

2.2 Macam – Macam Tipe Sepeda

Secara umum sepeda dibagi menjadi lima (5) kategori, yaitu Mountain Bike (MTB), Road, Urban, BMX, dan Youth. Pembagian berbagai macam tipe sepeda ini berdasarkan pada penggunaan masing – masing tipe yang disesuaikan dengan kondisi pemakaian pengendara. Contohnya adalah sepeda tipe trekking yang masuk dalam tipe Urban Bike. Tipe yang sangat



cocok untuk daerah perkotaan. Gambar 2.1 merupakan contoh tipe sepeda trekking.



Gambar 2.1 Sepeda tipe trekking

a) *Mountain Bike*

Merupakan jenis sepeda yang cocok digunakan untuk berpetualangan secara *off road*. Keunggulan sepeda jenis ini adalah memiliki suspensi yang sangat baik, cocok digunakan untuk berpetualangan hingga digunakan dalam keseharian. Tentunya dengan suspensi yang berbeda antara suspensi untuk berpetualangan dan untuk keseharian. Sepeda ini memiliki berat yang lebih dibanding sepeda *road*. *Mountain bike* sendiri dapat dibagi menjadi beberapa tipe lagi diantaranya sepeda *Gravity*, *Enduro*, dan *Trail*, serta *XC Race*. *Laisure* banyak disukai karena cocok untuk tipe santai.

b) *Road Bikes*

Merupakan tipe sepeda yang didesain sangat ringan dan cepat. Tipe sepeda ini dioptimalisasi performa di jalanan aspal



cepat dan ringan, *Helios* didesain untuk optimalisasi performa di jalan aspal. *Helios* seri A sangat cocok bagi para pembalap dan antusias *rider* yang menginginkan sepeda balap yang responsif dan cepat. *Helios C* pilihan para *rider* jarak jauh yang membutuhkan kenyamanan lebih. Bagi *rider* yang menginginkan sepeda dengan posisi duduk yang tegak, *Helios F* adalah pilihan terbaik.

c) *Urban Bikes*

Merupakan tipe sepeda yang sangat cocok untuk daerah perkotaan. Posisi berkendara yang tegak, pedal, dan *handlebar* yang rata, serta ban 700c yang lebih lebar merupakan paduan sempurna untuk kebutuhan bersepeda di perkotaan. Seri *Hybrid* cocok untuk digunakan di jalan raya hingga medan *offroad* ringan. *Gates belt drive* yang minim perawatan dan tenang diaplikasikan ke beberapa sepeda SUB dan beberapa *Citybike / Trekking*. Sepeda *Trekking* merupakan *hybrid bicycle* dan merupakan produk eropa yang paling terkenal. Sepeda ini merupakan turunan dari *mountain bike*. Mereka disesain untuk jalanan lurus, dilengkapi dengan *rear rack*, *suspension fork*, dan *aluminium frame*, dan dilengkapi *gear ratio*. Sepeda *trekking* sangat ringan, cepat, dan nyaman untuk touring jarak jauh.

d) *BMX / Dirt Jump Bikes*

Diperuntukkan bagi individu berjiwa bebas, *BMX race* yang cepat dan gesit, *BMX freestyle* untuk atraksi - atraksi yang menarik, dan sepeda *Dirt Jump* dengan lompatan lompatan atraktif yang indah. Sepeda *Dirt Jump* dan *BMX 20* atau *24* inch ini siap memuaskan *adrenaline* para pengendaranya.

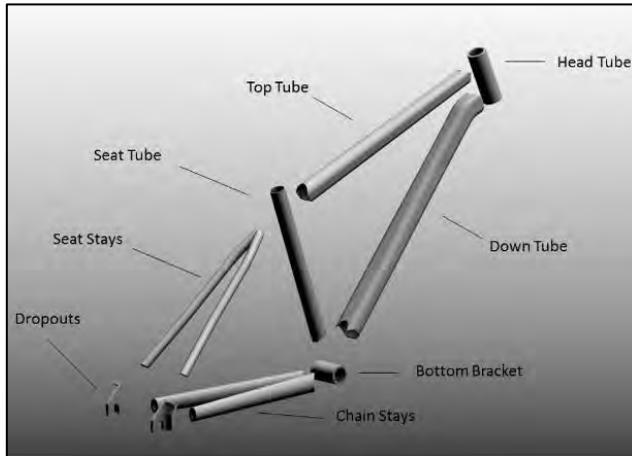
e) *Youth Bikes*

Merupakan sepeda anak pertama kali dengan 2 roda independen sampai bersepeda di jalur sepeda bersama keluarga hingga ke sepeda *junior road* atau sepeda MTB, semua sepeda ini akan sangat menyenangkan *rider* muda dalam petualangan mereka.



2.3 Bagian - Bagian Sepeda

Frame sepeda tersusun oleh berbagai komponen utama pada gambar 2.2. *Top tube* sepeda merupakan komponen utama dari sebuah sepeda, karena merupakan tempat menempelnya komponen-komponen lain. Berikut penjelasan komponen –komponen lain yang ada pada sepeda :



Gambar 2.2 Desain Bagian – Bagian Sepeda
(Sumber : Dawyer, 2012)

- a) Pipa *Head tube* merupakan pipa yang letaknya dibagian depan *top tube*. Pipa yang panjangnya lebih pendek dari pipa yang lainnya, dan menjadi tempat melekatnya komponen *head set*. Komponen *head set* menghubungkan antara garpu depan dengan *top tube* sepeda, sehingga garpu depan tetap bisa diputar untuk pengendalian. Pipa *top tube head tube* cukup berpengaruh terhadap geometri sebuah sepeda, yang memepengaruhi adalah besarnya sudut kemiringan pipa *head tube* atau biasa dikenal dengan istilah *head angle*. Sudut kemiringan pipa *head tube* diukur dari sumbu *horizontal* sepeda. Semakin sudut *head tube* mendekati 90^0 secara *horizontal*, maka sepeda



- akan lebih efisien dikendarai dan lebih mudah pengendaliannya.
- b) Pipa *Top tube* Pipa *top tube* merupakan pipa *top tube* yang letaknya dibagian paling atas dari sebuah *top tube*, pipa ini adalah pipa *top tube* yang menghubungkan pipa *seat tube* dengan pipa *head tube*. *Top tube* sepeda yang diproduksi tahun 1980-an memiliki bentuk pipa *top tube* lurus atau sejajar *horizontal*, karena bentuknya lurus maka biasanya disebut *top tube horizontal*. Pada masa sekarang desain pipa *top tube* dibuat miring. Pada bagian *head tube* dibuat lebih tinggi kemudian menurun hingga pipa *seat tube*.
 - c) Pipa *Down tube* Pipa ini salah satu fungsinya adalah berfungsi sebagai pegrhubung antara pipa *head tube* dengan lubang *bottom bracket* di bawah pipa *seat tube*. Fungsi lain dari pipa *down tube* adalah sebagai tempat menempelnya beberapa komponen sepeda seperti tuas pemindah gigi, dan tempat memasang botol minum.
 - d) Pipa *Seat tube* *Top tube* ini berfungsi sebagai penghubung antara segitiga depan dengan segitiga belakang. Dengan demikian gabungan kedua segitiga itu membentuk satu kesatuan utuh sebuah *top tube* sepeda. Fungsi lain pipa *seat tube* adalah sebagai tempat peletakan seat post (penyangga sedel), pipa seat post dimasukkan ke dalam pipa *seat tube*, dengan demikian ketinggian sedel dapat diatur. Diujung pipa *seat tube* dipasang seat clamp yang berfungsi mengunci ketinggian seat post disamping itu fungsi utama pipa *seat tube* adalah untuk menentukan ukuran sepeda, karena panjang pipa *seat tube* merupakan ukuran *top tube* sepeda.
 - e) Pipa *Chain Stay* Pipa *chain stay* merupakan pipa yang berbeda dibagian belakang *top tube* yang berfungsi sebagai tempat meletakkan roda belakang, pipa ini letaknya memanjang dari lubang *bottom bracket* hingga titik drop out.



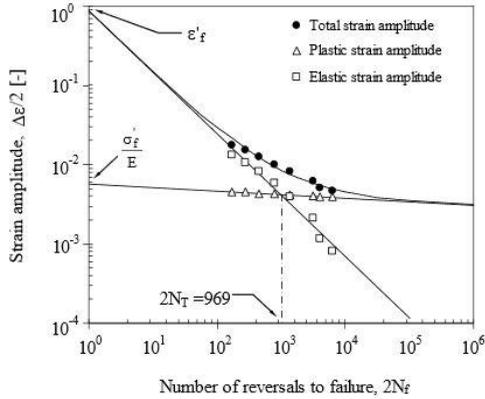
- f) *Pipa Seat Stays* *Pipa seat stays* merupakan bagian *top tube* yang letaknya berada di atas *chain stay*, again ini menghubungkan antara bagian atas *pipa seat tube* dengan bagian ujung *chai stays* atau lebih tepatnya bertemu dengan *drop out*.
- g) *Drop Out* *Drop out* merupakan bagian dari *top tube* yang fungsinya sebagai tempat peletakan as roda. Bagian yang bentuknya seperti huruf U ini letaknya diujung pertemuan *chain stay* dan *seat stay*, bentuk *drop out* umumnya ada dua macam, *horizontal* dan *vertical* 330rpd (Haryantomy, 2006).

2.4 Fatigue

Fatigue adalah kegagalan yang terjadi karena pembebanan dinamis dan fluktuatif dengan pebebanan dibawah tegangan luluh untuk beban statis. *Fatigue* merupakan kegagalan terbesar pada kegagalan logam dan hampir 90%. Kegagalan *fatigue* berbahaya, karena tidak memberikan tanda-tanda kegagalan yang jelas. Setiap material umumnya memiliki kurva S-N, dimana *stress amplitudes* sesuai dengan persamaan 2.1, Sedangkan N merupakan logaritma dari jumlah *cycle*.

$$\sigma_a = \frac{\sigma_r}{2} = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \dots \dots \dots (1)$$

Secara umum *fatigue life* dibedakan menjadi dua, yaitu : *low-cycle fatigue* dan *high-cycle fatigue*. Pada *low-cycle fatigue* terjadi kurang dari $10^4 - 10^5$ *cycle*. Sedangkan *high-cycle* lebih dari 10^5 hingga patah (Callister, 2009). Alumunium 6061 merupakan salah satu logam *non-ferrous* yang digunakan sebagai bahan baku produksi sepeda trekking. Pada gambar 2.3 merupakan kurva S-N logam *non-ferrous* alumunium 6061.



Gambar 2.3 Kurva S-N Aluminium 6061
(Sumber : Dawyer, 2012)

Sebagai salah satu paduan aluminium, tipe 6061 harus mampu menahan beban minimum 1200N dengan minimum *cycle* sebanyak 50.000 *cycle* (Arunachalam, 2014). Namun pada kenyataannya banyak paduan aluminium 6061 yang mengalami kegagalan *fatigue*. Hal ini dikarenakan pembebanan dinamis dan fluktuatif pada sepeda.

Wohler mengemukakan bahwa pembebanan pada *fatigue* terdiri dari tegangan tarik dan tekan dan akan membentuk gelombang sinusoidal atau *fully reversed fatigue loading*. Namun pada kenyataannya tidak semua aplikasi pembebanan merupakan *fully reverse stress cycling*. Ini semua tergantung dari stress ratio tegangan yaitu

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}} \dots\dots\dots(2)$$

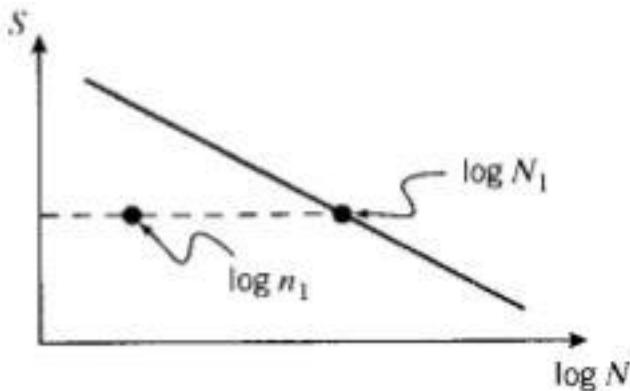
Fully reverse loading dapat terjadi apabila $R = -1$. Kurva SN pada gambar 2.3 merupakan kurva SN aluminium 6061 yang ditentukan berdasarkan kombinasi tegangan rata – rata dan tegangan *alternating*.



Struktur senantiasa mempunyai spektrum pembebanan dan variabel amplitudo pembebanan. Ketika diberikan variasi pembebanan selama proses kelelahan. Kerusakan kumulatif dapat diperkirakan dengan hukum Miner. Gambar 2.4 memperlihatkan efek kerusakan kumulatif selama pembebanan *fatigue*, dimana N_i adalah *lifetime cycle* dan n_i adalah jumlah siklus pada tegangan tertentu.

$$\sum_{i=1}^k \frac{N_i}{n_i} = 1 \dots\dots\dots(3)$$

Kelelahan terjadi ketika kerusakan kumulatif ≥ 1 . Dimana jumlah siklus pada tegangan tertentu telah melampaui *lifetime cycle*.



Gambar 2.4 Kurva stress vs cycle Aluminium 6061 T6

Pembebanan yang terus menerus akan menimbulkan inisiasi retak. Dimana jika pembebanan terus dilakukan akan mengakibatkan perpanjangan retak dengan laju tertentu yang dapat mengakibatkan retak permanen atau bahkan kegagalan material. Laju perambatan retak dapat dijelaskan dengan Hukum Paris yang diberikan pada persamaan....

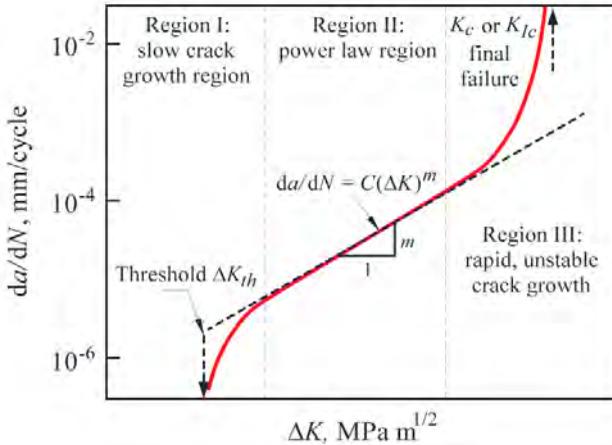
$$\frac{da}{dN} = A\Delta K^m \dots\dots\dots(4)$$

$$\Delta K = K_{max} - K_{min} \dots\dots\dots(5)$$



$$\Delta K = \sigma_{\max} \sqrt{\pi a} - \sigma_{\min} \sqrt{\pi a} = \sigma_f \sqrt{\pi a} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana $\frac{da}{dN}$ adalah laju perambatan retak tiap siklus, ΔK adalah *stress intensity factor* selama siklus berlangsung, A dan m adalah parameter yang tergantung pada material, lingkungan, frekuensi, temperatur dan perbandingan tegangan.



Gambar 2. 5 Kurva hubungan *stress intensity factor* dengan laju perambatan retak

Hubungan *stress intensity factor* dengan laju permbatan retak dapat plot kedalam tiga daerah (gambar 2.5) pada daerah I pertumbuhan retak sangat lambat dimana dibatasi oleh ΔK_{th} perambatan retak lelah tidak teramati. Dengan kata lain, bila $\Delta K < \Delta K_{th}$ maka retakan tidak akan menjalar. Pada daerah II hubungan antara $\log \frac{da}{dN}$ dengan ΔK dapat dikatakan linear seperti yang dinyatakan dalam hukum paris. Daerah III terjadi percepatan pada laju perambatan retak. Disini harga K_{\max} - mendekati harga *fracture tuoghness* material K_c .



2.4 Teori Kegagalan

Teori Kegagalan untuk material ulet, material yang ulet akan patah jika tegangan akibat beban statik diatas kekuatan tarik *yield*.

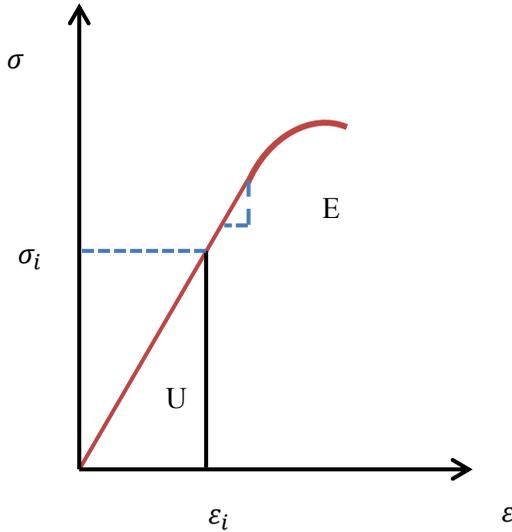
2.4.1 Teori Energi Distorsi (von Mises-Hencky)

Teori kegagalan ini diperkenalkan oleh Huber (1904) dan kemudian disempurnakan melalui kontribusi Von Mises dan Hencky. Teori ini menyatakan bahwa “Kegagalan diprediksi terjadi pada keadaan tegangan multiaksial bilamana energi distorsi per unit volume sama atau lebih besar dari energi distorsi per unit volume pada saat terjadinya kegagalan dalam pengujian tegangan uniaksial sederhana terhadap specimen dari material yang sama”.

Energi regangan akibat distorsi (berkaitan dengan perubahan bentuk) per unit volume, U_d adalah energi regangan total per unit volume, U dikurangi energi regangan akibat beban hidrostatis (berkaitan dengan perubahan volume) per unit volume, U_h

$$U_d = U - U_h \dots\dots\dots(7)$$

Energi regangan total per unit volume, U adalah luas dibawah kurva tegangan-regangan gambar 2.5



Gambar 2.6 Energi regangan yang tersimpan pada elemen terdefleksi

$$U = \frac{1}{2} (\sigma_1 \varepsilon_1 + \sigma_2 \varepsilon_2 + \sigma_3 \varepsilon_3) \dots\dots\dots (8)$$

$$U = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu (\sigma_1 \sigma_2 + \sigma_2 \sigma_3 + \sigma_1 \sigma_3)] \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E} (\sigma_1 - \nu \sigma_2 - \nu \sigma_3) \dots\dots\dots (10)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E} (\sigma_2 - \nu \sigma_1 - \nu \sigma_3) \dots\dots\dots (11)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E} (\sigma_3 - \nu \sigma_1 - \nu \sigma_2) \dots\dots\dots (12)$$

Tegangan utama terdiri atas komponen hidrostatis (σ_h) dan distorsi (σ_{id})

$$\sigma_i = \sigma_h + \sigma_{id} \dots\dots\dots (13)$$

Sehingga :

$$\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 3\sigma_h + (\sigma_{1d} + \sigma_{2d} + \sigma_{3d}) \dots\dots\dots (14)$$

$$3\sigma_h = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 - (\sigma_{1d} + \sigma_{2d} + \sigma_{3d}) \dots\dots\dots (15)$$

Komponen hidrostatis tegangan , σ_h terjadi hanya akibat perubahan volumetrik ($\sigma_{id}) = 0$



$$\sigma_h = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \dots \dots \dots (16)$$

Energy regangan hidrostatik, U_h didapatkan dengan mensubstitusi σ_h pada persamaan

$$U_h = \frac{1}{2E} [\sigma_h^2 + \sigma_h^2 + \sigma_h^2 - 2\nu(\sigma_h \sigma_h + \sigma_h \sigma_h + \sigma_h \sigma_h)] = \frac{3}{2} \frac{(1-2\nu)}{E} \sigma_h^2 \dots \dots \dots (17)$$

$$U_h = \frac{3}{2} \frac{(1-2\nu)}{E} \left(\frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \right)^2 \dots \dots \dots (18)$$

$$U_h = \frac{(1-2\nu)}{E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] (19)$$

Sehingga

$$U_d = U - U_h \dots \dots \dots (20)$$

$$U_d = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] - \frac{(1-2\nu)}{E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] \dots \dots (21)$$

$$U_d = \frac{1+\nu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_1\sigma_3)] \dots (22)$$

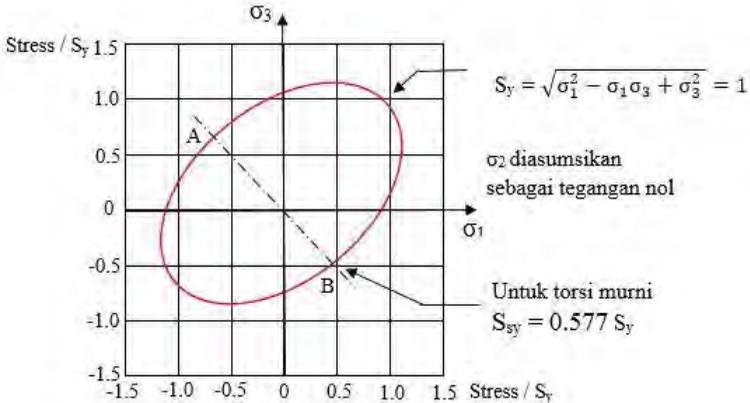
Pendekatan kriteria kegagalan dilakukan dengan membandingkan energi distorsi per unit volume pada persamaan dengan energi distorsi saat terjadi kegagalan pada uji tarik.

$$\frac{1+\nu}{3E} S_y^2 = U_d = \frac{1+\nu}{3E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3] \dots \dots (23)$$

$$S_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3 \dots \dots \dots (24)$$



$$S_y = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1\sigma_3} \dots\dots\dots (25)$$



Gambar 2.7 Grafik representasi TED dalam keadaan tegangan 2 dimensi

Tegangan efektif Von Mises (σ_v) didefinisikan sebagai tegangan tarik uniaksial yang dapat menghasilkan energi distorsi yang sama dengan yang dihasilkan oleh kombinasi tegangan yang bekerja (Gambar 2.6).

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - \sigma_1\sigma_2 - \sigma_2\sigma_3 - \sigma_1} \dots\dots\dots(26)$$

Atau :

$$\sigma' = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}} \dots\dots\dots(27)$$

untuk kasus dua dimensi ($\sigma_2 = 0$)

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_3 + \sigma_3^2} \dots\dots\dots(28)$$



$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x \sigma_y + 3\tau_{xy}^2} \dots\dots\dots(29)$$

Kegagalan akan terjadi bila :

$$\sigma' \geq \frac{S_y}{n_s} \dots\dots\dots(30)$$

Untuk geseran murni $\sigma_1 = \tau = \sigma_3$ dan $\sigma_2 = 0$

$$S_y^2 = \sigma_1^2 + \sigma_1 \sigma_1 + \sigma_1^2 = 3 \sigma_1^2 = 3 \tau_{max}^2 \dots\dots\dots(31)$$

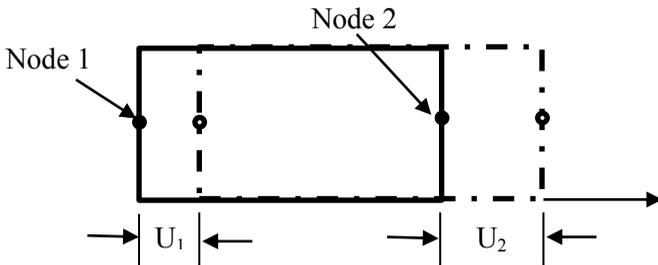
$$\sigma_1 = \frac{S_y}{\sqrt{3}} = 0.577 S_y = \tau_{max} \dots\dots\dots(32)$$

dari persamaan diatas didefinisikan kekuatan yield terhadap geser (S_{ys}) dari material ulet adalah fraksi dari kekuatan yield yang didapat dari uji tarik (S_y)

$$S_{ys} = 0.577 S_y \dots\dots\dots(33)$$

2.5 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga merupakan cara yang sangat baik dalam menentukan tegangan dan defleksi dalam konstruksi yang sulit diselesaikan dengan secara analitik. Pada metode ini konstruksi dibagi menjadi jaringan yang terdiri dari elemen kecil yang dihubungkan satu sama lain pada titik node. Analisa elemen hingga dikembangkan dari metode matriks untuk analisa struktur dan ditunjang oleh computer digital yang memungkinkan diselesaikannya sistem dengan ratusan persamaan simultan. Konsep yang disederhanakan dapat dilihat pada gambar 2.8



Gambar 2.8 Elemen persegi empat sederhana untuk menjelaskan analisa metode elemen hingga
(Sumber: Dieter,1993)

Setiap node memiliki satu derajat kebebasan bila bergeser sejauh U_1 dan U_2 . Persamaan yang menyatakan hubungan antara gaya yang bekerja pada node dan perpindahan yang diakibatkannya adalah sebagai berikut:

$$P_1 = K_{11}U_1 + K_{12}U_2 \dots\dots\dots (34)$$

$$K_{21}U_1 + K_{22}U_2 \dots\dots\dots (35)$$

Koefisien kekakuan K_{ij} dihitung dengan program komputer berdasarkan sifat elastik bahan dan geometri elemen hingga dengan bentuk matriksnya adalah

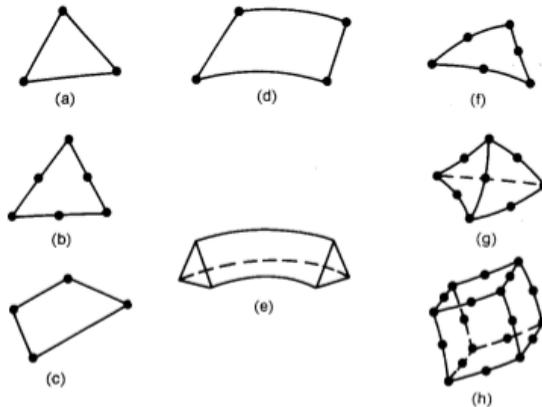
$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} K_{11} & K_{12} \\ K_{21} & K_{22} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (36)$$

Bila kedua elemen tadi digabungkan menjadi suatu konstruksi, dapat digunakan prinsip superposisi untuk menentukan kekakuan struktur dua elemen tadi.



$$\begin{Bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & 0 \\ k_{21} & k_{22} + k_{22} & k_{23} \\ 0 & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \end{Bmatrix} \dots\dots\dots (37)$$

Suatu konstruksi tiga dimensi akan mengakibatkan bertambahnya jumlah persamaan simultan; tetapi dengan memanfaatkan elem tingkat tinggi dan computer yang lebih cepat, soal-soal tersebut dapat diselesaikan dengan FEM (Finite Element Methode). Pada gambar 2.9 tampak beberapa elemen yang digunakan dalam analisa FEM



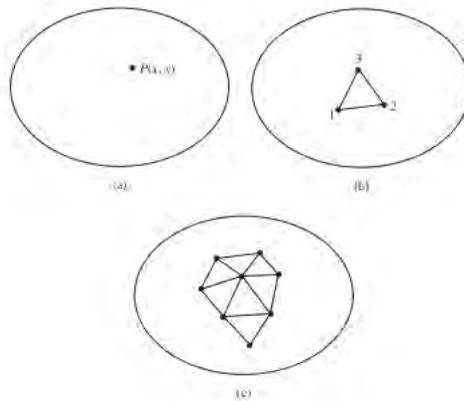
Gambar 2.9 Elemen yang Lazim Digunakan pada Analisa FEM
 (a) Elemen dua dimensi paling sederhana, (b) Segitiga dengan enam node, (c) Elemen kuadrilateral, (d) Elemen cincin berdimensi satu, (e) Elemen segitiga berdimensi dua, (f) Segitiga isoparametrik, (g) Tetrahedron, (h) Heksahedron.
 (Sumber: Dieter,1993)

Penyelesaian Elemen hingga mencakup perhitungan matriks kekakuan untuk setiap elemen dalam struktur. Elemen tersebut kemudian dirakit membentuk matriks kekakuan [K] untuk seluruh konstruksi.

$$\{P\} = [K] \{u\} \dots\dots\dots(38)$$



Secara umum teknis dan terminology finite element analysis digambarkan pada gambar 2.10. Gambar mewakili volume suatu material yang sudah diketahui properties fisiknya. Volume mewakili domain boundary yang akan dihasilkan. Untuk singkatnya diasumsikan dengan kasus 2-dimensi $\emptyset(x, y)$ untuk menentuka setiap titik P (x,y)



Gambar 2.10 (a) domain 2-dimensi dari daerah variable $\emptyset(x, y)$
 (b) 3 node finite elemen didefinisikan dalam satu daerah (c)
 elemen tambahan yang menunjukkan finite elemen mesh
 (Sumber : Hutton, 2004)

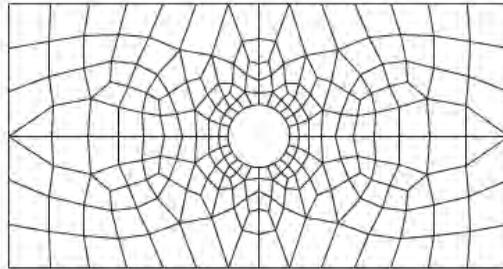
Jika nilai dari daerah variabel dikomputasikan hanya pada node dan dilakukan interpolasi ada nodal value . Untuk tiga – node segitiga dapat didiskripsikan pada persamaan berikut ini :

$$\emptyset(x, y) = N_1(x, y) \emptyset_1 + N_2(x, y) \emptyset_2 + N_3(x, y) \emptyset_3 \dots\dots(39)$$

Dimana $\emptyset_1 \emptyset_2 \emptyset_3$ merupakan nilai dari daerah variable pada node dengan $N_1 N_2 N_3$ adalah nilai fungsi interpolasi atau shape functions. Sesuai dengan gambar 2.3 elemen memiliki 3 degrees of freedom. Sebagai contoh penyelesaian permasalahan dengan



menggunakan metode finite elemen ditunjukkan pada gambar 2.11 yang menggambarkan persegi panjang dengan lubang dibagian tengah. Diasumsikan persegi panjang memiliki tebal yang konstan pada arah z. Hasil meshing menunjukkan bentuk yang bermacam-macam (triangles dan *quadrilaterals*) dan ukuran yang berbeda-beda.



Gambar 2.11 Hasil meshing dengan menggunakan metode elemen hingga
(Sumber : Hutton, 2004)

2.6 ANSYS

ANSYS merupakan sebuah software berbasis finite element methods yang dapat digunakan untuk analisa distribusi tegangan, temperature, dan elektromagnetik dll. ANSYS apdl adalah salah satu jenis ANSYS parametric design language dan dapat digunakan untuk membangun model dengan parameter tertentu (ANSYS, 2009).

2.6.1 Element Solid Brick 185

Solid 185 digunakan untuk memodelkan struktur 3D, yang ditetapkan oleh 8 node dan memiliki 3 degree of freedom pada masing-masing node yaitu translations pada arah x, y, z . Element ini memiliki plasticity, hyperelasticity, stress stiffening, creep, large deflection, dan large strain capabilities. Itu juga digabungkan dengan rumus untuk mensimulasikan deformasi dari incompressible elastoplastic material, dan incompressible



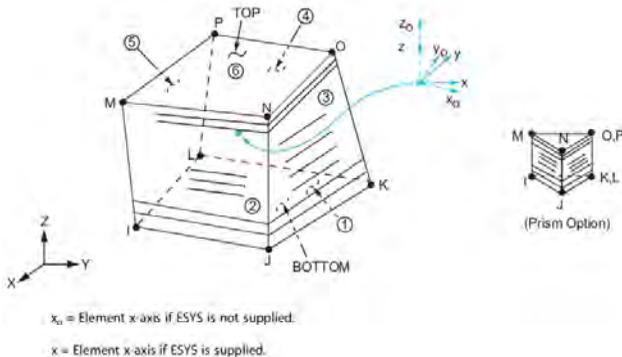
hyperelastic penuh material. Secara umum solid brick 185 dibagi menjadi dua bentuk, yaitu :

1. Struktur Solid Homogen (KEYOPT(3)=0, the default), solid structural yang cocok untuk memodelkan 3D struktur solid secara umum. Berlaku untuk prisma, *tetrahedral*, dan degeneration pyramid ketika digunakan pada daerah tidak beraturan. Berbagai macam teknologi element seperti B-bar, tidak seragamnya pengurangan integrasi, dan mempertinggi regangan pendukung.
2. Struktur Solid Layered (KEYOPT(3)=1), solid structural yang digunakan untuk memodelkan lapisan tipis shells atau solid (ANSYS, 2009).



Gambar 2.12 Solid Brick 185

Sumber : ANSYS, 2009



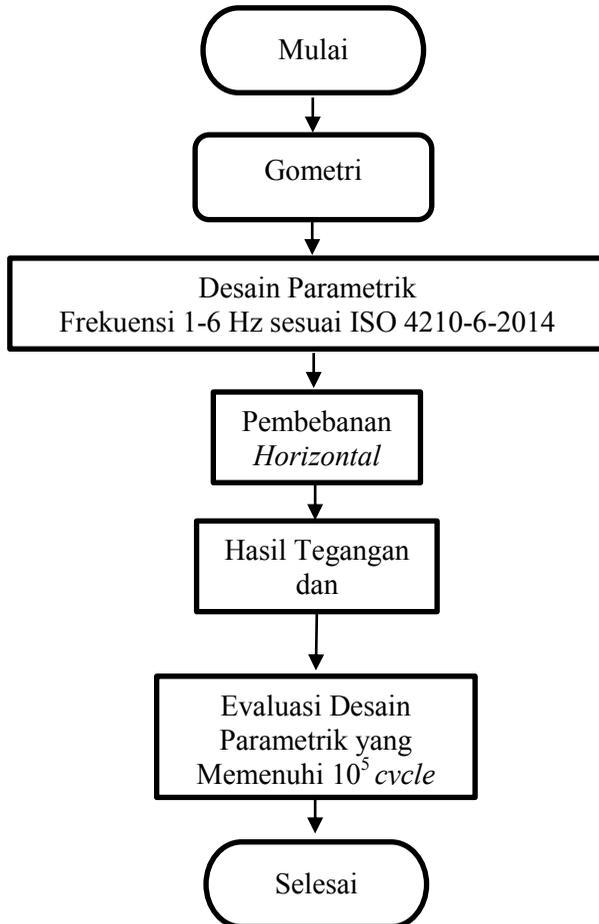
Gambar 2.13 Layered Structural Geometri

Sumber : ANSYS Help, 2009

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian



3.2 Materi Penelitian

3.2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah 5 desain sepeda trekking dengan spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Tipe Sepeda Trekking

No	Desain	Tipe	Massa <i>Frame</i> (gram)
1	A	Mekk 16 Volante 24x370 D	540
2	B	Coop15 Christian 700cx570 N3	670
3	C	Forme15 Peaktrail 2.0 G 700cx16 D	660

Material yang digunakan pada *frame* sepeda tipe trekking adalah aluminium 6061 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.2 Spesifikasi Aluminium 6061 T6

(Sumber : ASTM B209-96)

Unsur	Jumlah (%)	Unsur	Jumlah (%)
Si	0.40-0.80	Cr	0.04-0.35
Fe	0.7	Zn	0.25
Cu	0.15-0.40	Ti	0.15
Mn	0.15	Elemen lain	0.15
Mg	0.80-1.2	Al	Sisa

Tabel 3.3 Sifat mekanik material

(Sumber: Challister 2009)

Sifat mekanik	Al 6061	Alloy Steel
Modulus Elastisitas (E)	69×10^3 MPa	210×10^3 Mpa
Poison Ratio	0.33	0.28
Densitas (ρ)	2700 kg/m ³	7700 kg/m ³



Tabel 3.4 Data kurva tegangan regangan sebenarnya Al6061
(Sumber : Atlas of Stress-Strain Curves 06825G ASM
International 2002)

Posisi	Tegangan (MPa)	Regangan
Linear	100	0,001449275
Yield	356	0,00516
Ultimate	405	0,0723
Fracture	561	0,765

Tabel 3.5 Data Kurva SN Al6061
(Sumber : MIL-HDBK-5H 1998)

Jumlah siklus	Stress Amplitudo (Mpa)
1×10^2	345
1×10^3	276
1×10^4	248
1×10^5	200
1×10^6	166
1×10^7	117
1×10^8	100

Adapun proses pengelasan *frame* aluminium 6061 dapat dijelaskan pada tabel berikut.menggunakan jenis pengelasan TIG (*Tungsten Inert Gas*) dengan spesifikasi sebagai berikut :

Tabel 3.6 Parameter Las TIG pada Aluminum 6061

Parameter Las	Keterangan
Jenis filler	ER4043
Diameter filler	1.6 mm
Jenis polarisasi	AC
Arus (A)	180-200 A
Beda potensial (V)	310 MPa
Kecepatan las	380 V
Gas Pelindung	Argon grade A 6 ppm

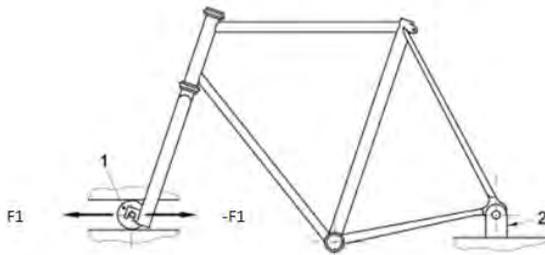


3.2.1 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. SolidWorks merupakan salah satu software untuk membuat desain 3D yang kemudian hasilnya akan di import ke software ANSYS dengan format parasolid.
2. ANSYS merupakan suatu perangkat lunak komputer yang mampu menyelesaikan persoalan-persoalan elemen hingga dari pemodelan hingga analisis dengan keakuratan yang cukup tinggi.

3.3 Skema Pengujian *Horizontal Fatigue*



Gambar 3.2 Skema Pengujian *Horizontal Fatigue*
(Sumber : ISO 4210-6-2014)

Keterangan gambar :

1. *Free-running guided roller*
2. Rigid, pivoted mounting for rear axle attachment point

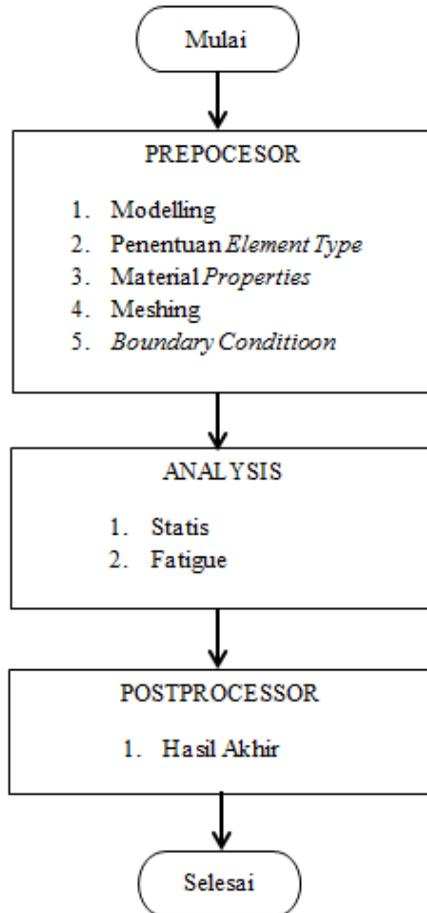
Tabel 3.7 Keterangan pengujian *horizontal fatigue*

Komponen	Besaran
Tinggi Sedel	635 atau lebih
Load (F1+)	450 N
Load (F2-)	450 N
Cycle	100.000



3.4 Pemodelan dengan ANSYS 15.0

Adapun diagram alir pemodelan *fatigue* pada *frame* sepeda dengan menggunakan ANSYS Mechanical APDL Release 15.0 dapat dilihat pada gambar



Gambar 3.3 Diagram alir pemodelan menggunakan metode elemen hingga

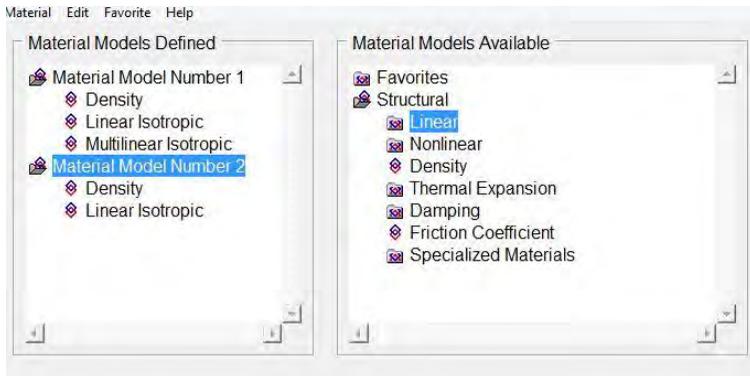


3.4.1 Pemodelan *frame* sepeda

Terdapat tiga macam sepeda tipe trekking yang digunakan dalam penelitian ini seperti yang disebutkan pada tabel 3.1, geometry sepeda dibuat dengan menggunakan solid work 2013 kemudian diimport ke ANSYS Mechanical APDL Release 15.0 dalam bentuk file tipe parasolid. Tipe elemen yang digunakan pada analisis structural adalah solid brick 185. Masing – masing *frame* dibuatkan tambahan *fork* dengan panjang 0.367 m , 0.4275 m, dan 0.4711 m berturut – turut untuk desain A, B,C. *Fork* dibuat dengan melakukan *extrude area head tube* bagian bawah. Setelah *fork* terbentuk kemudian dibuatkan balok dengan panjang 0.045 m, 0.055 m, dan 0.042 m searah dengan sumbu X. Lebar sesuai dengan diameter terluar *fork* dan tinggi 9:10 dari panjang *fork*. Pembuatan balok dilakukan dengan mengekstrude area, namun harus dibuatkan terlebih dahulu area berbentuk persegi panjang pada bagian bawah *fork* sebelum *extrude* untuk membangun balok sesuai dimensi. Kemudian dilakukan add volume untuk balok dengan *fork* sehingga akan menjadi satu kesatuan. Kemudian dilakukan *glue* pada *fork* dengan *frame*.

3.4.2 Input Material Properties

Pada penelitian ini menggunakan 2 jenis material yaitu Aluminium 6061 T6 (material 1) dan Alloy Steel (material 2). Material Aluminium 6061 T6 sebagai material *frame* dan Alloy Steel sebagai material *fork*. Input material pada gambar 3.6 untuk Aluminium 6061 T6 berupa material linier *isotropic* dan multilinier *isotropic*., Linier *isotropic* berarti gaya yang diterima tiap *node* akan diteruskan sama besar kesegala arah ($F_x=F_y=F_z$). Adapun input material yang dimasukkan berupa modulus elastisitas, poisson ratio, dan massa jenis. Kemudian tegangan regangan sebenarnya diinputkan sebagai multilinier *isotropic*. Sedangkan untuk material *fork* hanya menginputkan linier *isotropic*.

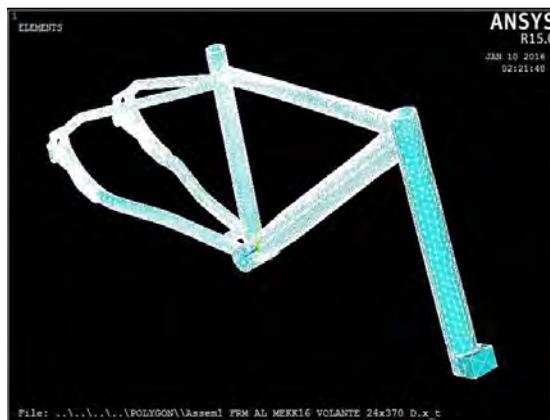


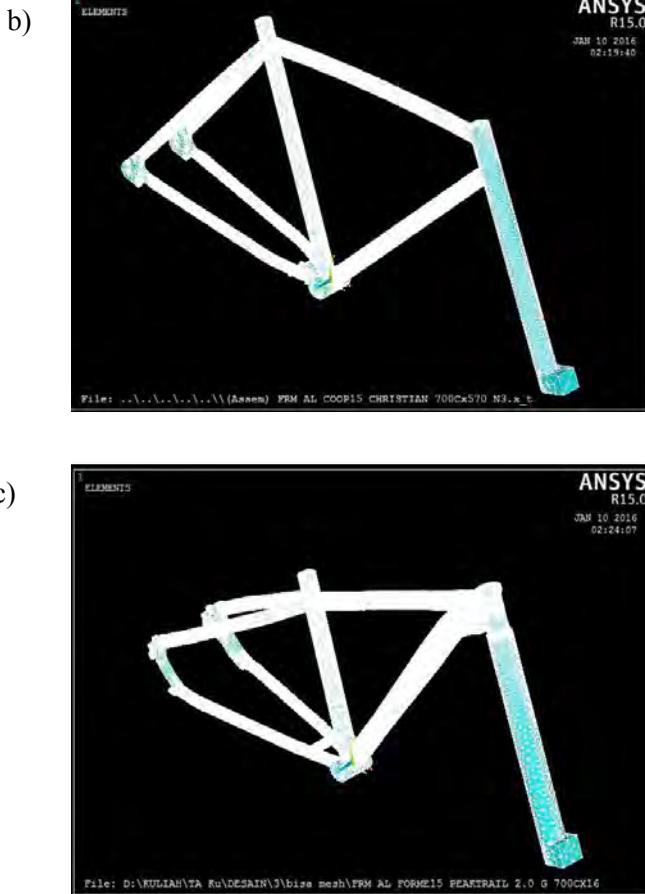
Gambar 3.4 Input material pada ANSYS

3.4.3 Meshing

Metode *meshing* yang digunakan pada model sepeda adalah *free mesh* dengan ukuran tertentu. Ukuran *mesh* untuk masing – masing desain *frame* A, B, C dan *fork* sebesar 8, 7, 8 . Berikut gambar 3.7 menunjukkan hasil *mesh* tiap *frame*.

a)





Gambar 3.5 (a) Hasil *meshing* desain 1 (b) Hasil *meshing* desain 2 c) Hasil *meshing* desain 3

3.4.3 Boundary Conditions

Sesuai dengan standart pengujian *fatigue* horizontal ISO 4210-6-2004 pada gambar 3.4 dijelaskan bahwa bagian *drop out* sepeda dijepit dengan *displacement* nol, tujuannya agar tidak ada pergerakan ke arah sumbu x, y, maupun z. Pemberian gaya



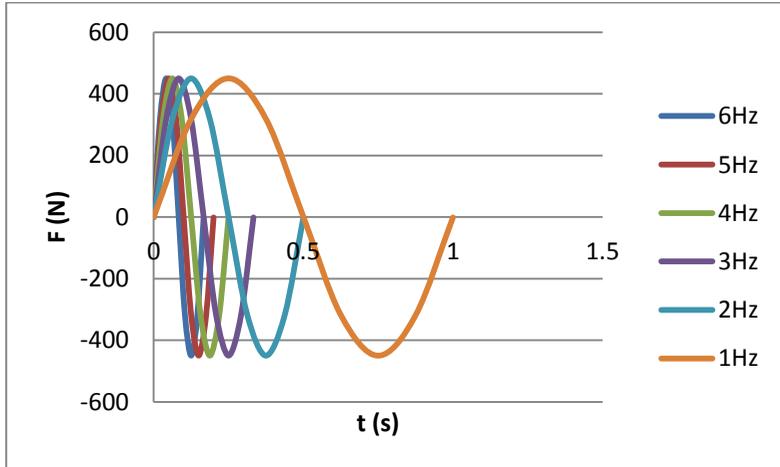
diberikan sebesar 450 N dan -450 N pada arah sumbu x dan di kondisikan pemberian gaya horizontal dengan sumbu pusat *drop out* yang dijepit.

3.5 Analisis Statis

Analisis statis dilakukan dengan pemberian *displacement* pada kedua *drop out* dan memberikan beban 450 N ke arah sumbu x pada *fork* kemudian dissolve. Dan diulangi cara yang sama untuk pemberian gaya -450 N. Kemudian dari hasil analisa statis akan didapatkan data distribusi tegangan statis.

3.6 Analisis Fatigue

Analisis *fatigue* dilakukan dengan menggunakan tipe *transient* atau bisa disebut sinusoidal. Tiap – tiap frekuensi memiliki panjang gelombang yang berbeda – beda untuk melakukan satu gelombang utuh seperti pada gambar 3.8 menunjukkan gambar waktu vs simpangan untuk frekuensi 1 – 6 Hz.



Gambar 3.6 Perbandingan frekuensi 1 – 6 Hz



Sehingga untuk mengatur gelombang sinusinal pada ANSYS sesuai dengan fekuensi yang diginaan, input dilakukan pada *sol'n control*. Dngan menggunakan analisis small *displacement transient* kemudian melakukan pengaturan Adapun yang diinputkan adalah waktu pembebanan, mematikan *time steping*, dn menginputkan *number of substep* sebanyak lima kali. Pada penelitian ini dilakukan input data *sol'n control* sebanyak delapan kali sehingga gelombang sinusinal yang terbentuk akan lebih presisi. Kemudian dilakukan pemberian *displacement* pada dropouts dan pemberian gaya sesuai dengan waktu yang sudah ditentuka seperti pada tabel lampiran dan dilakukan pengulangan sebanyak delapan kali kemudian dilakukan *solve from 1st file 1-8*. Setelah proses *solve* selesai file harus diread *by pick 1 – 8*. Langkah selanjutnya adalah masuk ke modul *fatigue* dengan melakukan input data tegangan vs *cycle* seperti pada tabel 3.5 dan dilakukan pengaturan *stress location*, penentuan *node* yang akan di analisa. Dalam penelitian ini *node* yang digunakan adalah 3 *node* yang memiliki tegangan tertinggi. Kemudian dilakuakan *store stress* pada *node* yang sudah ditentukan pada saat *store stress*. Dan dilakukan langkah yang sama untuk semua *pick* hingga *pick 8*. Setelah semua *store stress* terisi, dilanjutkan dengan *assign event*, dimana input *cycle* batasan kita masukkan. Dan langkah terakhir adalah melakukan *fatigue calculate*. Maka akan keluar hasil data yang menyatakan *node* yang kita tentukan pada saat *stress location* sebelumnya dapat mencapai *cycle* lebih atau kurang dari 100000 *cycle*. *Node* akan dikatakan gagal apabila tidak melebihi 100000 *cycle*. Dan *comulative usage* akan lebih besar atau sama dengan 1.

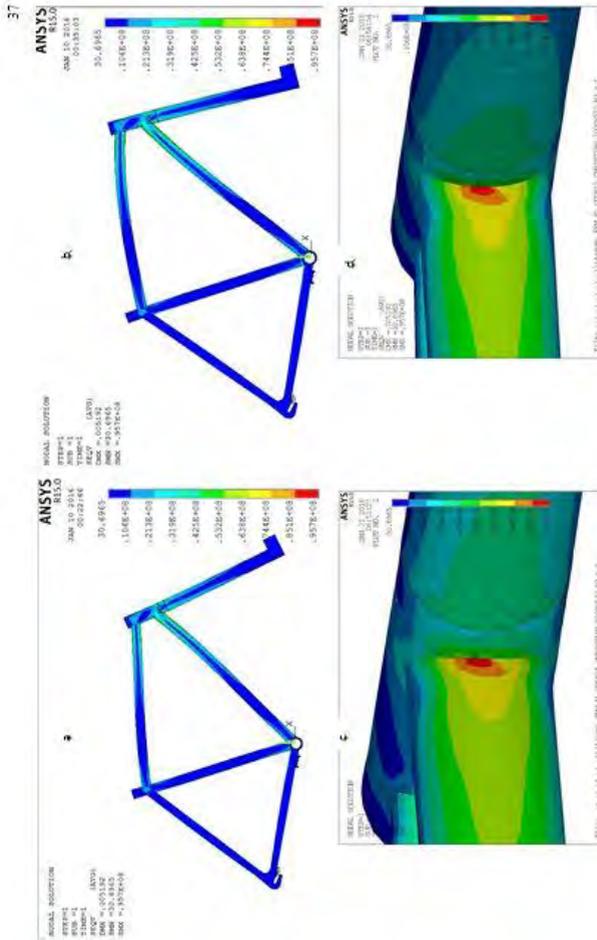
BAB IV ANALISIS DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Statis

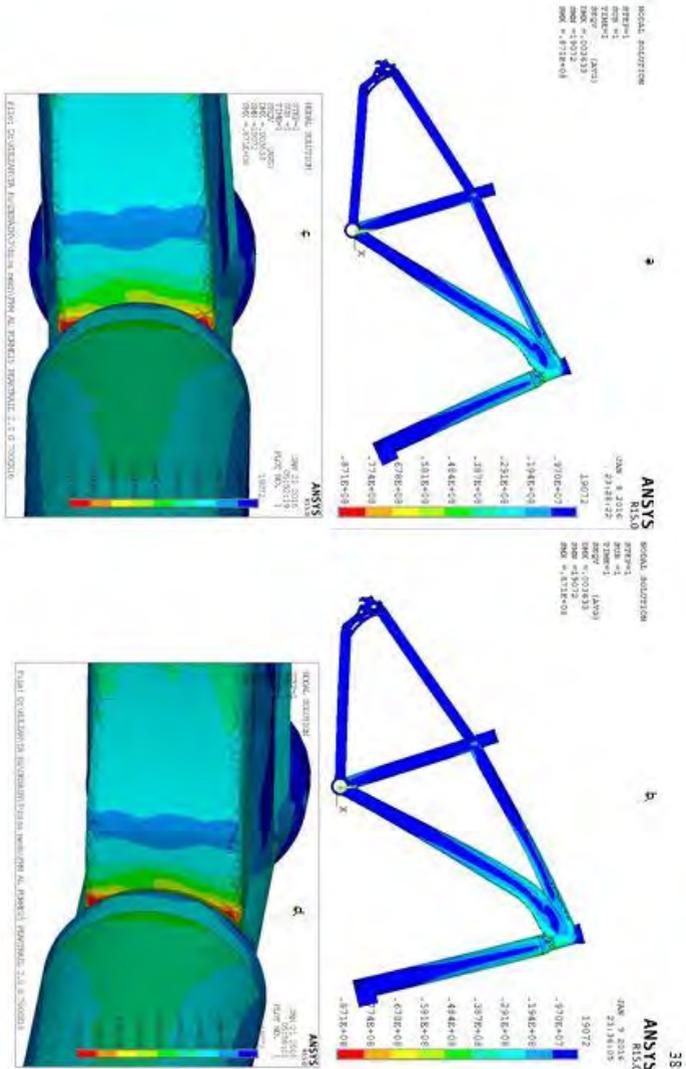
Hasil simulasi statis dapat diketahui distribusi tegangan pada sepeda pada pembebanan 450 N dan – 450 N. Gambar 4.1 menunjukkan hasil simulasi pembebanan ststis pada desain A dengan tegangan maksimum 54.9×10^6 Pa, gambar 4.2 menunjukkan hasil pembebanan ststis desain B dengan tegangan maksimum 95.7×10^6 Pa, dan gambar 4.3 menunjukkan hasil pembebanan statis desain C dengan tegangan maksimum 87.1×10^6 Pa. Dari hasil gambar pembebanan ststis terlihat dengan pemberian gaya yang sama besar namun berbeda arah pada ketiga desain menghasilkan tegangan yang sama besar. Tetapi terlihat ada perbedaan arah deformasi antara pemberian gaya positif dan negatif. Pada gaya positif bagian *top tube*, *down tube*, dan *head tube* cenderung melengkung ke bawah, sedangkan gaya negative bagian *top tube*, *down tube* dan *head tube frame* cenderung lebih melengkung ke atas pada ketiga desain. Dari hasil simulasi diketahui daerah kritis yang memiliki tegangan tertinggi dan kemungkinan akan terjadi *crack* terdapat pada daerah pertemuan *top tube*, *head tube*, dan *down tube*. Pada pengujian *fatigue horizontal*, *crack* dapat terjadi karena adanya gaya tarik pada pipa *down tube* dan gaya tekan terjadi pada pipa *top tube*, sedangkan *head tube* berfungsi seolah – olah sebagai tuas sedangkan *fork* sebagai penerima gaya. Sehingga *crack* akan cenderung terbentuk didaerah pertemuan antara ketiga pipa ini (Dawyer, 2012). Tegangan maksimum pada daerah statis apabila dicocokkan dengan data *stress* dan *cycle* pada tabel 3.5 menunjukkan bahwa ketiga desain mempunyai *cycle* diatas 1000×10^5 kali. Sementara *cycle* yang disyaratkan sesuai standard ISO 4210 adalah 100000 *cycle*. Sehingga *frame* sepeda berbagai tipe trekking aman ketika dilakukan pengujian statis dengan gaya sebesar 450 N dan -450 N.



Gambar 4.1



Gambar 4.2. Plot tegangan Von Mises untuk Pa kelasin B (a) pembebanan statis -450 N (b) pembebanan statis -450 N (c) tegangan kritis pembebanan 450 N (d) tegangan kritis pembebanan -450 N



Gambar 4.4. Plot tegangan Von Mises saat ini pada desain C (a) pembebanan statis 450 N (b) pembebanan statis -450 N (c) tegangan kritis pembebanan 450 N (d) tegangan kritis pembebanan -450 N



4.2 Analisa Fatigue

Berdasarkan penujian fatigue yang telah dilakukan pada desain A, B, dan C dapat dilihat pada gambar 4.4, 4.5, dan 4.6 yang merupakan hasil simulasi fatigue. Adapun hasil perhitungan cumulative damage dengan menggunakan miner rules persamaan 2.3 pada node tegangan tertinggi, didapatkan hasil seperti pada tabel 4.1.

Berdasarkan perhitungan miner rule pada persamaan 2.3 suatu material dikatakan aman apabila perbandingan jumlah siklus standart suatu material dengan jumlah siklus material pada tegangan tertentu kurang dari satu (1). Perbandingan ini lebih dikenal dengan sebutan *partial usage*. Apabila *partial usage* yang dihasilkan kurang dari satu (1) maka material dikatakan aman, namun apabila *partial usage* yang dihasilkan lebih dari satu material akan mulai mengalami kegagalan. Pada tabel 4.1 dari ketiga desain, node terkritis yang mengalami kerusakan adalah node 45568 pada desain C dengan siklus yang diizinkan pada tegangan 206×10^6 Pa sebesar 73.2×10^5 dan siklus aluminium 6061 T6 sesuai ISO 4210-6-2014 sebesar 100000 kali. Sehingga dari data tersebut didapatkan *partial usage* node 45568 sebesar 1.36706. Karena melebihi dari satu (1) sehingga pada node ini mengalami kegagalan. Dengan menggunakan data *partial usage* yang dihasilkan pada tabel 4.1 maka dapat diketahui frekuensi mana saja yang mengalami kegagalan atau aman seperti pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil evaluasi *partial usage* berdasarkan *Miner Rule*

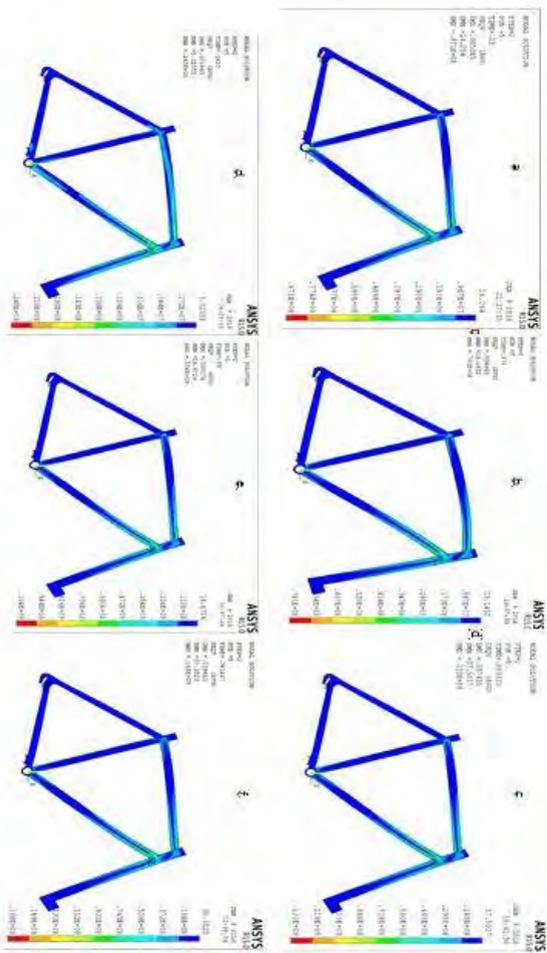
Frekuensi	Desain		
	A	B	C
1	V	V	V
2	V	V	V
3	V	V	V
4	V	V	V
5	V	V	V
6	V	V	X

V : Aman

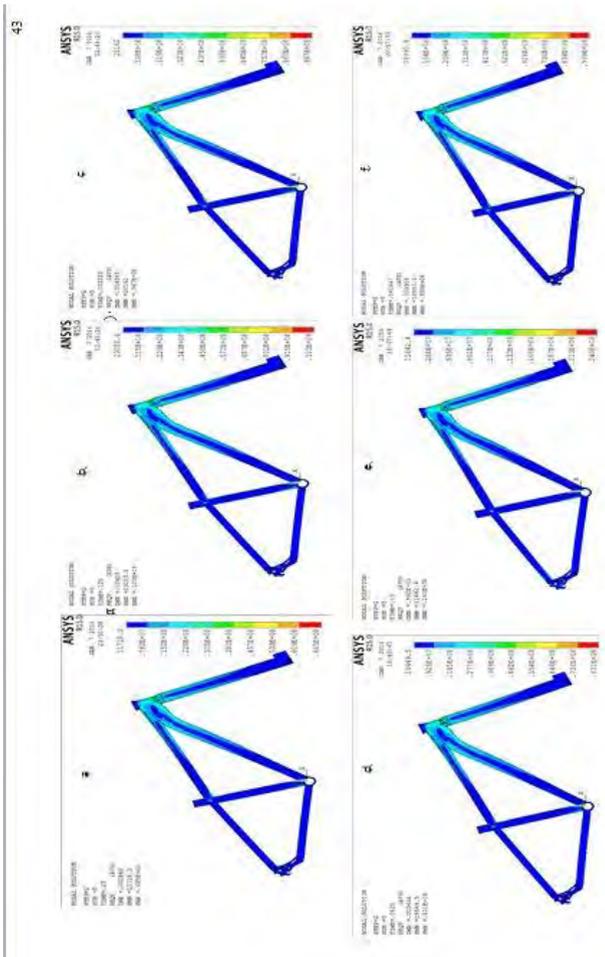
X : Gagal



Dari simulasi pengujian *horizontal fatigue*, dapat diketahui bahwa desain A aman di uji pada frekuensi 1 Hz – 6 Hz. Desain B aman diuji pada frekuensi 1 Hz – 6 Hz dan desain C aman diuji pada frekuensi 1 Hz – 5 Hz dan gagal pada frekuensi 6 Hz.



Gambar 4.5. Plot tegangan struktur Pascal desain B dalam satu kali gelombang pada frekuensi (a) 1Hz (b) 2Hz (c) 3Hz (d) 4Hz (e) 5Hz (f) 6Hz



Gambar 4.6 Plot tegangan tahanan Pascal, desain C dalam satu kali gelombang pada frekuensi (a) 1 Hz (b) 2 Hz (c) 3 Hz (d) 4 Hz (e) 5 Hz (f) 6 Hz



Table 4.1 Data simulasi fatigue pada berbagai tipe rangka sepeda touring

Frekuensi (Hz)	Node Number			Alternating Stress (Pa)			Jumlah Siklus			Partial Usage		
	Desain			Desain			Desain			Desain		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
1	1618	30630	45568	25.3×10^6	61.1×10^6	69.9×10^6	1000×10^5	1000×10^5	1000×10^5	0.001	0.001	0.001
2	19463	30630	45568	35.2×10^6	65.6×10^6	138×10^6	1000×10^5	1000×10^5	33.3×10^5	0.001	0.001	0.03003
3	19463	30630	45568	29.8×10^6	94.0×10^6	152×10^6	1000×10^5	1000×10^5	1.8×10^5	0.001	0.001	0.05545
4	19463	30630	45568	35.2×10^6	85.1×10^6	162×10^6	1000×10^5	1000×10^5	11.8×10^5	0.001	0.001	0.08463
5	19463	30630	45568	36.8×10^6	24.9×10^6	138×10^6	1000×10^5	1000×10^5	33.5×10^5	0.001	0.001	0.2986
6	19463	30630	45568	80.9×10^6	175×10^6	206×10^6	1000×10^5	5.24×10^5	73.2×10^5	0.001	0.19096	1.36706



4.3 Analisis Keadaan Tidak Ideal untuk Desain C

Analisis keadaan tidak ideal dilakukan untuk mengetahui keadaan sepeda apabila gaya yang diterima tidak *horizontal*. Pada analisis ini *frame* akan dikenai gaya dengan sudut 7.5° , 15° dan 30° dari arah *horizontal*. Pemilihan sudut ini berdasarkan (ISO 4210-6-2014) tepatnya pada pengujian *pedalling*, yang menjadi landasan pemilihan sudut. Sehingga pada penelitian ini memvariasikan sudut pembebanan untuk mensimulasikan keadaan tidak ideal. Hal ini didasarkan kenyataan kondisi ekstrim yang dialami pengendara. Pada aplikasi nyata, hal ini dapat terjadi contohnya sepeda yang digunakan untuk mengendarai pada jalan yang bergelombang, sehingga menyebabkan gaya yang diterima *frame* tentunya tidak hanya arah *horizontal* saja. Namun juga gaya yang diterima dapat ke arah *horizontal* dan vertikal, hal ini dapat disimulasikan pada ANSYS dengan memberikan sudut pada saat pemberian gaya. Gambar 4.7, 4.8, 4.9 merupakan hasil simulasi pengujian *horizontal fatigue* pada keadaan tidak ideal.

Partial usage digunakan untuk menentukan suatu material dalam keadaan aman atau mengalami kegagalan. *Partial usage* ditentukan dari persamaan 2.3, yaitu perbandingan siklus material yang diizinkan dengan siklus pada tegangan tertentu. Dikatakan aman apabila *partial usage* yang dihasilkan kurang dari satu (1) dan mengalami kegagalan apabila lebih atau sama dengan satu (1). Berdasarkan hasil simulasi dapat diketahui pada tabel 4.3 bahwa tegangan tertinggi pada desain C terdapat pada node 45568. Berdasarkan data *partial usage* diketahui bahwa desain C akan mengalami kerusakan pada frekuensi 5 dan 6 Hz pada saat pembebanan membentuk sudut 7.5° , 15° dan 30° dari arah *horizontal*. Terlihat bahwa *partial usage* sudut 15° paling besar dibandingkan dengan kedua sudut lain. Sehingga dapat diketahui bahwa pada sudut 15° ini merupakan sudut terekstrim untuk pemberian beban bersudut pada pengujian *horizontal fatigue*. Jadi jika dihubungkan dengan keadaan nyata, kegagalan akan terjadi saat pengendara menaiki sepeda dan terkena gaya luar dengan sudut sebesar 15° .



Berdasarkan evaluasi *partial usage* dengan Miner Rule dapat diketahui frekuensi mana saja yang optimum digunakan saat pengujian *horizontal fatigue*, seperti terlihat pada tabel 4.4.

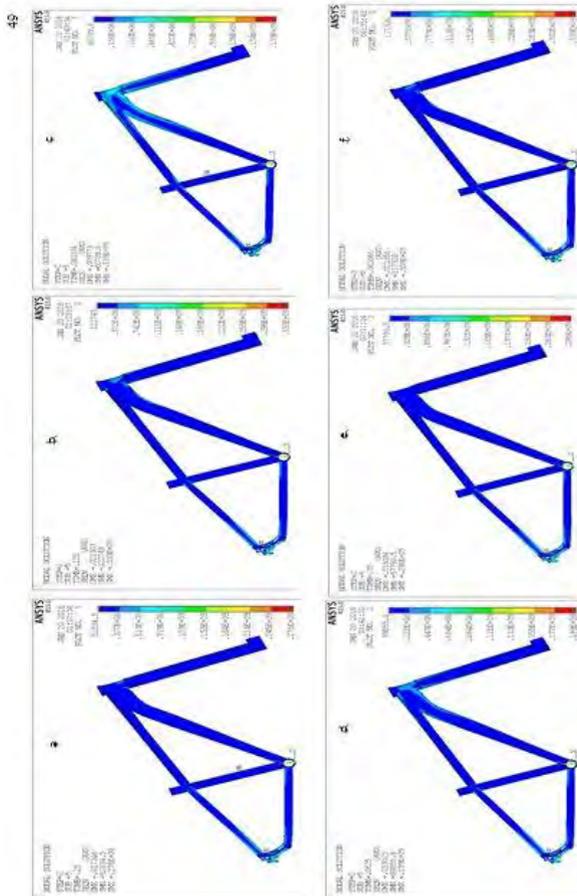
Tabel 4.4 Data hasil simulasi pemberian gaya dengan berbagai sudut dari arah horizontal pada desain C

Frekuensi	Sudut (derajat)		
	7.5	15	30
1	V	V	V
2	V	V	V
3	V	V	V
4	V	V	V
5	X	X	X
6	X	X	X

V : Aman

X : Gagal

Dari hasil simulasi dapat diketahui frekuensi aman yang dapat digunakan desain C saat pembebanan dengan sudut 7.5^0 adalah 1 – 5 Hz, saat pembebanan 15^0 adalah 1 – 4 Hz, dan saat pembebanan 30^0 adalah 1 – 4 Hz.



Gambar 4.9 Plot tegangan Von Mises struktur Pasca desain C pada perbandingan sudut 30° (a) 1Hz (b) 2Hz (c) 3Hz (d) 4Hz (e) 5Hz (f) 6Hz



4.3 Validasi

Validasi simulasi pengujian *fatigue horizontal* pada berbagai tipe *frame* sepeda trekking dilakukan dengan mencocokkan hasil simulasi dengan hasil *experiment* dari perusahaan sepeda Polygon. Setelah dilakukan validasi hasil simulasi menyakakan bahwa desain A akan aman hingga frekuensi 6 Hz, desain B aman hingga frekuensi 6 Hz, dan desain C aman hingga frekuensi 5 Hz namun rusak pada frekuensi 6 Hz. Pada kenyataannya perusahaan sepeda Polygon menerapkan 4 Hz untuk pengujian *fatigue horizontal* pada semua tipe trekking. Perbedaan antara simulasi dan *experiment* dapat terjadi karena pada simulasi *frame* dianggap sempurna, sedangkan pada kenyataannya banyak faktor luar yang berpengaruh terutama pengelasan dan *heat treatment* yang belum maksimal.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian ini adalah :

1. Frekuensi optimum pengujian *horizontal fatigue* sepeda tipe trekking adalah 5 Hz, sesuai standart (ISO-4210-6-2014) pengujian *horizontal fatigue* lebih tepat pada frekuensi tinggi.
2. Sudut 15^0 merupakan sudut maksimum pembebanan bersudut pada pengujian *horizontal fatigue* dengan frekuensi aman saat pengujian pada 1 – 4 Hz.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengujian horizontal fatigue adalah sebagai berikut :

1. Untuk simulasi selanjutnya komponen tambahan disesuaikan dengan kondisi pengujian yang sebenarnya.
2. Untuk simulasi selanjutnya digunakan analisis *transient* atau *dianamic explicit* agar hasil lebih presisi.



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

Callister, D William., David G Rethwisch Jr. 2009. *Material Science And Engineering An Introduction*. USA : John Wiley & Sons Inc.

Covil, Derek., Steven Begg., Eddy Elton., Mark Milne., Richard Morris., Tim Kataz. 2014. *Parametric Finite Element Analysis of Bicycle Frame Geometries*. Procedia Engineering. Sheffield Hallam University: 441 – 446.

Davis, R, Maury L Hull. 1981. *Design of Alumunium Bike Frame*.

Dawyer, Forrest. 2012. *Material and Design Optimization for Alumunium Bike Frame*. Worcester Polytechnic Institute

Dieter, George. 1993. *Metalurgi Mekanik*. USA : McGraw-Hill Inc.

Ferraresi, CL., Gabribaldi, D Perocchio., BAD Piombo. 2011. *Dynamic Behavior And Optimization of Frame for Road and Mountain Bikes*. Italia: Corso Duca degli Abruzzi.

Gur, Yilmaz.2014. *A new bicycle frame design via stress and structural weight analysis with finite element methods*. ISI journal citation report : 1840-1503.

Hagiharaa, Akiyoshi., Yasuji Odab., Hiroshi nouchic. 2007. *Influence of Testing Frequency on Fatigue Crack Growth of 6061-T6*. Key Engineering Materials : 174-177.

Hariyantomy, Dwi Bagus. 2006. *Simulasi Pengujian Standard EN14766 Pada Rangka Sepeda Menggunakan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga*. Surabaya : ITS.

M, Arunachalam., Prakasah, Arun R., R, Rajesh. 2014. *A typical approach conceptual and embodiment design for foldable bicycle*.

Rong, Zhu., Wu Yanjun., Wang Jingtao., Li Youyan. 2012. Effect of frequency in *fatigue* life time of extrud mg3% al1% Zn alloys. China : Wuhan Univercity of technology

S. Abeygunasekara, T. M. M. Amarasekara, 2014, *Stress Analysis Of Bicycle Paddle And Optimized By Finite Element Method*, Srilanka: SAIM Research Symposium on Engineering Advancements 2014.

Styns, Steven. 2011. *Development of experimental methods for fatigue testing of composite racing bicycle frames.*

Zhongxia, Xiang., Tian Guang., Xu Wen., Guang Xin., Yu Xiaoran. 2011. *Load on Bicycle Frame During Cycling with Different Speeds and Gestures.* Tianjin University and Springer-Verlag Berlin Heidelberg 17: 270-274.

Tabel 1 Data plot kurva fatigue frekuensi (1 – 6 Hz)

6 Hz				5 Hz				4 Hz				3 Hz				2 Hz				1 Hz							
Titik	t	sin wt	F	Titik	t		F																				
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1.00	0.02	0.71	318.07	1.00	0.03	0.71	318.07	1.00	0.03	0.71	318.07	1.00	0.04	0.71	318.07	1.00	0.06	0.71	318.07	1.00	0.13	0.71	318.07	1.00	0.13	0.71	318.07
2.00	0.04	1.00	450.00	2.00	0.05	1.00	450.00	2.00	0.06	1.00	450.00	2.00	0.08	1.00	450.00	2.00	0.13	1.00	450.00	2.00	0.25	1.00	450.00	2.00	0.25	1.00	450.00
3.00	0.06	0.71	318.58	3.00	0.08	0.71	318.58	3.00	0.09	0.71	318.58	3.00	0.12	0.71	318.58	3.00	0.19	0.71	318.58	3.00	0.38	0.71	318.58	3.00	0.38	0.71	318.58
4.00	0.08	0.00	0.72	4.00	0.10	0.00	0.72	4.00	0.13	0.00	0.72	4.00	0.17	0.00	0.72	4.00	0.25	0.00	0.72	4.00	0.50	0.00	0.72	4.00	0.50	0.00	0.72
5.00	0.10	-0.71	-317.56	5.00	0.13	-0.71	-317.56	5.00	0.16	-0.71	-317.56	5.00	0.21	-0.71	-317.56	5.00	0.31	-0.71	-317.56	5.00	0.63	-0.71	-317.56	5.00	0.63	-0.71	-317.56
6.00	0.12	-1.00	-450.00	6.00	0.15	-1.00	-450.00	6.00	0.19	-1.00	-450.00	6.00	0.25	-1.00	-450.00	6.00	0.38	-1.00	-450.00	6.00	0.75	-1.00	-450.00	6.00	0.75	-1.00	-450.00
7.00	0.15	-0.71	-319.08	7.00	0.18	-0.71	-319.08	7.00	0.22	-0.71	-319.08	7.00	0.29	-0.71	-319.08	7.00	0.44	-0.71	-319.08	7.00	0.88	-0.71	-319.08	7.00	0.88	-0.71	-319.08
8.00	0.17	0.00	-1.43	8.00	0.20	0.00	-1.43	8.00	0.25	0.00	-1.43	8.00	0.33	0.00	-1.43	8.00	0.50	0.00	-1.43	8.00	1.00	0.00	-1.43	8.00	1.00	0.00	-1.43

Tabel 2 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 7.5⁰ (1 – 6 Hz)

Sudut 7.5	Frekuensi 1 Hz				Frekuensi 2 Hz				Frekuensi 3 Hz				Frekuensi 4 Hz				Frekuensi 5 Hz				Frekuensi 6 Hz							
	Titik	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY			
1	0.13	0.71	315.35	41.51	0.06	0.71	315.35	41.51	0.04	0.71	315.35	41.51	0.03	0.71	315.35	41.51	0.03	0.71	315.35	41.51	0.02	0.71	315.35	41.51	0.02	0.71	315.35	41.51
2	0.25	1.00	446.15	58.73	0.13	1.00	446.15	58.73	0.08	1.00	446.15	58.73	0.06	1.00	446.15	58.73	0.05	1.00	446.15	58.73	0.04	1.00	446.15	58.73	0.04	1.00	446.15	58.73
3	0.38	0.71	315.85	41.58	0.19	0.71	315.85	41.58	0.13	0.71	315.85	41.58	0.09	0.71	315.85	41.58	0.08	0.71	315.85	41.58	0.06	0.71	315.85	41.58	0.06	0.71	315.85	41.58
4	0.50	0.00	0.71	0.09	0.25	0.00	0.71	0.09	0.17	0.00	0.70	0.09	0.13	0.00	0.71	0.09	0.10	0.00	0.71	0.09	0.08	0.00	0.71	0.09	0.08	0.00	0.71	0.09
5	0.63	-0.71	-314.85	-41.45	0.31	-0.71	-314.85	-41.45	0.21	-0.71	-314.86	-41.45	0.16	-0.71	-314.85	-41.45	0.13	-0.71	-314.85	-41.45	0.10	-0.71	-314.85	-41.45	0.10	-0.71	-314.85	-41.45
6	0.75	-1.00	-446.15	-58.73	0.38	-1.00	-446.15	-58.73	0.25	-1.00	-446.15	-58.73	0.19	-1.00	-446.15	-58.73	0.15	-1.00	-446.15	-58.73	0.12	-1.00	-446.15	-58.73	0.12	-1.00	-446.15	-58.73
7	0.88	-0.71	-316.35	-41.64	0.44	-0.71	-316.35	-41.64	0.29	-0.71	-316.34	-41.64	0.22	-0.71	-316.35	-41.64	0.18	-0.71	-316.35	-41.64	0.15	-0.71	-316.35	-41.64	0.15	-0.71	-316.35	-41.64
8	1.00	0.00	-1.42	-0.19	0.50	0.00	-1.42	-0.19	0.33	0.00	-1.40	-0.18	0.25	0.00	-1.42	-0.19	0.20	0.00	-1.42	-0.19	0.17	0.00	-1.42	-0.19	0.17	0.00	-1.42	-0.19

Tabel 3 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 15^0 (1 – 6 Hz)

Sudut 15	Frekuensi 1 Hz				Frekuensi 2 Hz				Frekuensi 3 Hz				Frekuensi 4 Hz				Frekuensi 5 Hz				Frekuensi 6 Hz			
	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY																				
1	0.13	0.71	307.23	82.32	0.06	0.71	307.23	82.32	0.04	0.71	307.23	82.32	0.03	0.71	307.23	82.32	0.03	0.71	307.23	82.32	0.02	0.71	307.23	82.32
2	0.25	1.00	434.66	116.46	0.13	1.00	434.66	116.46	0.08	1.00	434.66	116.46	0.06	1.00	434.66	116.46	0.05	1.00	434.66	116.46	0.04	1.00	434.66	116.46
3	0.38	0.71	307.72	82.45	0.19	0.71	307.72	82.45	0.13	0.71	307.71	82.45	0.09	0.71	307.72	82.45	0.08	0.71	307.72	82.45	0.06	0.71	307.72	82.45
4	0.50	0.00	0.69	0.19	0.25	0.00	0.69	0.19	0.17	0.00	0.68	0.18	0.13	0.00	0.69	0.19	0.10	0.00	0.69	0.19	0.08	0.00	0.69	0.19
5	0.63	-0.71	-306.74	-82.19	0.31	-0.71	-306.74	-82.19	0.21	-0.71	-306.75	-82.19	0.16	-0.71	-306.74	-82.19	0.13	-0.71	-306.74	-82.19	0.10	-0.71	-306.74	-82.19
6	0.75	-1.00	-434.66	-116.46	0.38	-1.00	-434.66	-116.46	0.25	-1.00	-434.66	-116.46	0.19	-1.00	-434.66	-116.46	0.15	-1.00	-434.66	-116.46	0.12	-1.00	-434.66	-116.46
7	0.88	-0.71	-308.21	-82.58	0.44	-0.71	-308.21	-82.58	0.29	-0.71	-308.19	-82.58	0.22	-0.71	-308.21	-82.58	0.18	-0.71	-308.21	-82.58	0.15	-0.71	-308.21	-82.58
8	1.00	0.00	-1.38	-0.37	0.50	0.00	-1.38	-0.37	0.33	0.00	-1.36	-0.37	0.25	0.00	-1.38	-0.37	0.20	0.00	-1.38	-0.37	0.17	0.00	-1.38	-0.37

Tabel 4 Data plot kurva fatigue frekuensi pembebanan 30^0 (1 – 6 Hz)

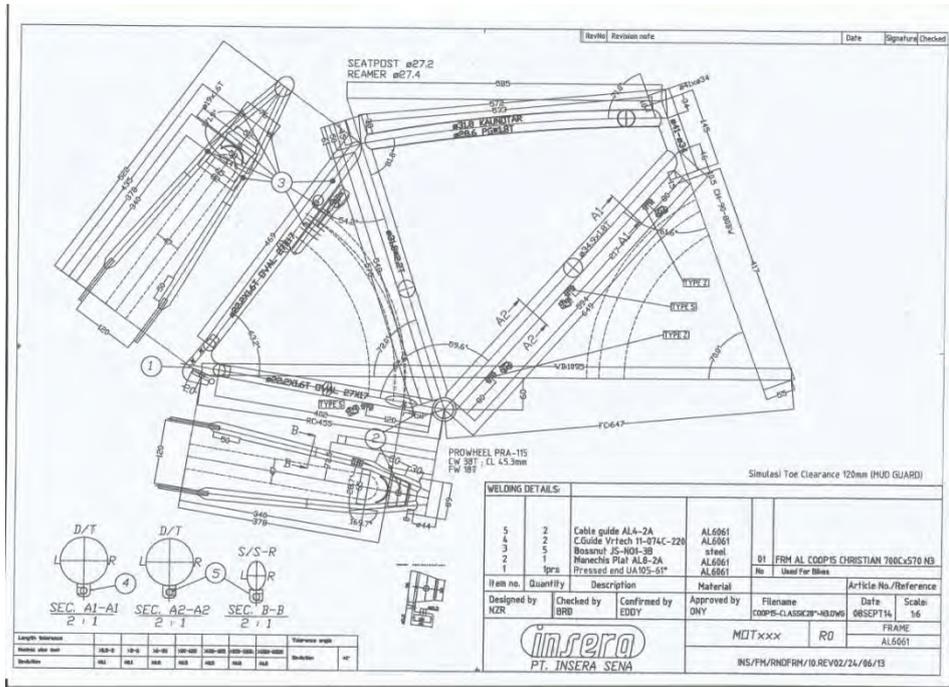
Sudut 30	Frekuensi 1 Hz				Frekuensi 2 Hz				Frekuensi 3 Hz				Frekuensi 4 Hz				Frekuensi 5 Hz				Frekuensi 6 Hz			
	Waktu (s)	Y= sinwt	FX	FY																				
1	0.13	0.71	275.46	159.04	0.06	0.71	275.46	159.04	0.04	0.71	275.46	159.04	0.03	0.71	275.46	159.04	0.03	0.71	275.46	159.04	0.02	0.71	275.46	159.04
2	0.25	1.00	389.71	225.00	0.13	1.00	389.71	225.00	0.08	1.00	389.71	225.00	0.06	1.00	389.71	225.00	0.05	1.00	389.71	225.00	0.04	1.00	389.71	225.00
3	0.38	0.71	275.90	159.29	0.19	0.71	275.90	159.29	0.13	0.71	275.89	159.29	0.09	0.71	275.90	159.29	0.08	0.71	275.90	159.29	0.06	0.71	275.90	159.29
4	0.50	0.00	0.62	0.36	0.25	0.00	0.62	0.36	0.17	0.00	0.61	0.35	0.13	0.00	0.62	0.36	0.10	0.00	0.62	0.36	0.08	0.00	0.62	0.36
5	0.63	-0.71	-275.02	-158.78	0.31	-0.71	-275.02	-158.78	0.21	-0.71	-275.03	-158.79	0.16	-0.71	-275.02	-158.78	0.13	-0.71	-275.02	-158.78	0.10	-0.71	-275.02	-158.78
6	0.75	-1.00	-389.71	-225.00	0.38	-1.00	-389.71	-225.00	0.25	-1.00	-389.71	-225.00	0.19	-1.00	-389.71	-225.00	0.15	-1.00	-389.71	-225.00	0.12	-1.00	-389.71	-225.00
7	0.88	-0.71	-276.33	-159.54	0.44	-0.71	-276.33	-159.54	0.29	-0.71	-276.32	-159.53	0.22	-0.71	-276.33	-159.54	0.18	-0.71	-276.33	-159.54	0.15	-0.71	-276.33	-159.54
8	1.00	0.00	-1.24	-0.72	0.50	0.00	-1.24	-0.72	0.33	0.00	-1.22	-0.71	0.25	0.00	-1.24	-0.72	0.20	0.00	-1.24	-0.72	0.17	0.00	-1.24	-0.72

Tabel 5 Massa frame dan inersia

Desain	Pusat massa			Massa Total
	X	Y	Z	
A	0.27132	0.15623	-0.0016038	3.6699
B	0.28449	0.22577	-0.0001321	3.9599
C	0.26728	0.22229	-0.0032209	3.9850



Gambar 1 Foto pengujian horizontal fatigue



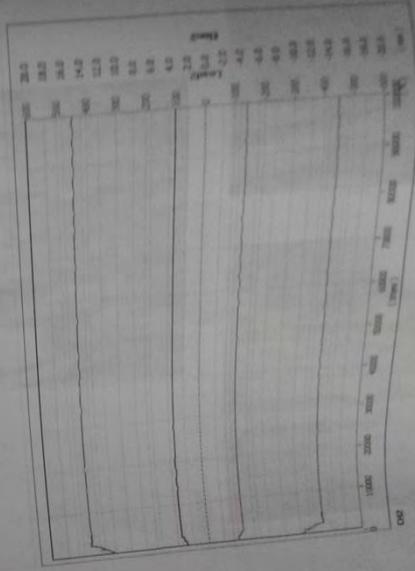
Gambar 3 Geometri desain B

PT. INSERA SENA
 J. JAWA 381024 MADIKSIKAM 48183AN 920486
 TEL.031-866264 FAX.031-866179

TESTING REPORT

1. Customer: PT INSERASENA
 2. Operator: DHOFFER
 3. Lot No.: BERG16 CROSSTOWN T20 L 3002V
 4. Date: 8/7/2015
 5. Time: 9:10:14 AM
 6. Temperature: 30
 7. Test Style: Dynamic Test
 8. Standard: ISO 105-2014
 9. Specimen Type: HORIZONTAL TEST
 10. Specimen Frame
 11. Separator Type: HORIZONTAL TEST
 12. Test Range: 0 - 6N
 13. Test Number: 100000 / 100000 Cycle
 14. Test Time: 08:56:40
 15. Notice:
 16. File Name: D:\FRAMEFRAME\SAMPLES\BERG16\2015\BERG16 CROSSTOWN T20 L 3002 V (HOR).im

--- Test Set --- Single Action
 Each Action
 --- On ---
 Control Type: Load
 Frequency: 4.0Hz
 Upper SW: ON
 Lower SW: ON
 Each Tests: 100000
 --- On ---
 Control Type: Load
 Upper SW: 400N
 Lower SW: 400N
 Each Tests: 100000



Gambar 5 Testing report pengujian horizontal fatigue

BIODATA PENULIS



Penulis yang bernama lengkap Rostarina Angraini dilahirkan di Karanganyar pada tanggal 29 April 1994. Penulis merupakan anak pertama dari 2 bersaudara, dan telah menempuh pendidikan formal yaitu Mi Muhammadiyah Karanganyar, SMP 1 Karanganyar dan SMA 1 Karanganyar. Setelah lulus dari SMA, penulis diterima sebagai calon Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya 2012. Penulis melanjutkan studi di Jurusan Teknik Material dan Metalurgi FTI ITS dengan nomor registrasi pokok 2712 100 017.

Semasa kuliah, penulis terdaftar aktif sebagai asisten laboratorium fisika material pada tahun 2013-2014, dan menjadi staf ahli divisi aplikatif Badan Semi Otonom Material Techno Club 2013-2014.

Selesaiannya tugas akhir ini mengantarkan penulis memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Material dan Metalurgi Institut Teknologi sepuluh Nopember Surabaya.

Email : Rostarina9@gmail.com